

**SISTEM PENGENDALI SUHU PADA BIOREAKTOR ANAEROB
BERBASIS MIKROKONTROLER**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



SAIFUDDIN ZUHRI

NIM. 135060301111028

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018







PERNYATAAN ORIENTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2018
Mahasiswa,

SAIFUDDIN ZUHRI
NIM. 135060301111028







Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:

*Ibunda dan kakak tercinta
Para Sahabat*



PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengendali Suhu pada Bioreaktor Anaerob berbasis Mikrokontroler” dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

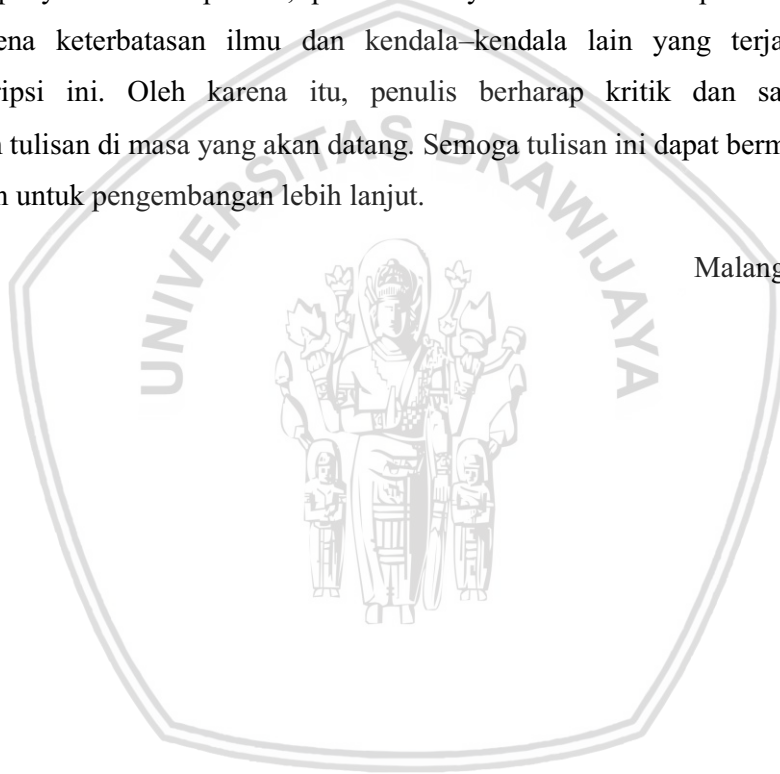
- Allah SWT yang telah memberikan kelancaran, kemudahan dan hidayah-Nya.
- Ibu tercinta, Ibu Aminah yang selalu memberikan kasih sayang dan do’a yang tak pernah putus.
- Kakak tercinta, M. Didy Iskandar, SP. yang selalu berbagi cerita, semangat, canda, dan tawa.
- Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Ir. Nurussa’adah, MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Kontrol Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Ibu Rahmadwati, ST., MT., Ph.D. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan kesempatan, nasihat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan.
- Para Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu pada penulis dalam menyelesaikan studi dan sebagai bekal untuk mempelajari ilmu setelah lulus.
- Teman-teman asisten laboratorium Sistem Kontrol, terima kasih telah memberikan banyak bantuan dan canda tawa.

- Teman-teman skripsi, Azril, Idam, Pur, Hasan, Ryan, Firman, Rozaq, Rony, Sugab, Jati, Mebby, Adyt, Muchzan, dan teman-teman yang lain yang selalu memberikan keceriaan.
- Keluarga besar Teknik Kontrol 2013 dan Spectrum 2013 untuk dukungan dan semangat.
- Teman-teman kos Pak Hery Jl. MT Haryono XI yang selalu berbagi keceriaan.
- Semua pihak, yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belumah sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Juli 2018

Penulis



RINGKASAN

Saifuddin Zuhri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Sistem Pengendali Suhu pada Bioreaktor Anaerob Berbasis Mikrokontroler*, Dosen Pembimbing: Rahmadwati.

Biogas merupakan salah satu sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi bahan-bahan organik, termasuk di antaranya kotoran manusia dan hewan, juga limbah domestik. Temperatur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses anaerob pada bioreaktor, yang mana pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh perubahan suhu. Sangat penting untuk merancang sistem kontrol suhu menggunakan kontroler PID guna menjaga suhu konstan. Suhu 35 °C merupakan temperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri metana. Sistem pengendali suhu pada bioreaktor anaerob dirancang untuk dapat mengontrol suhu berdasarkan kondisi ideal untuk perkembangbiakan bakteri metana. Dalam penelitian ini digunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler dan untuk parameter kontroler digunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Didapatkan nilai $K_p = 12.28$, $K_i = 0.014$, dan $K_d = 2580$. Pada setpoint 35 °C, didapatkan nilai *settling time* (t_s) = 3903 detik, *delay time* (t_d) = 751 detik, *error steady state* sebesar 0,88% dan *Maximum Overshoot* sebesar 5.7%.

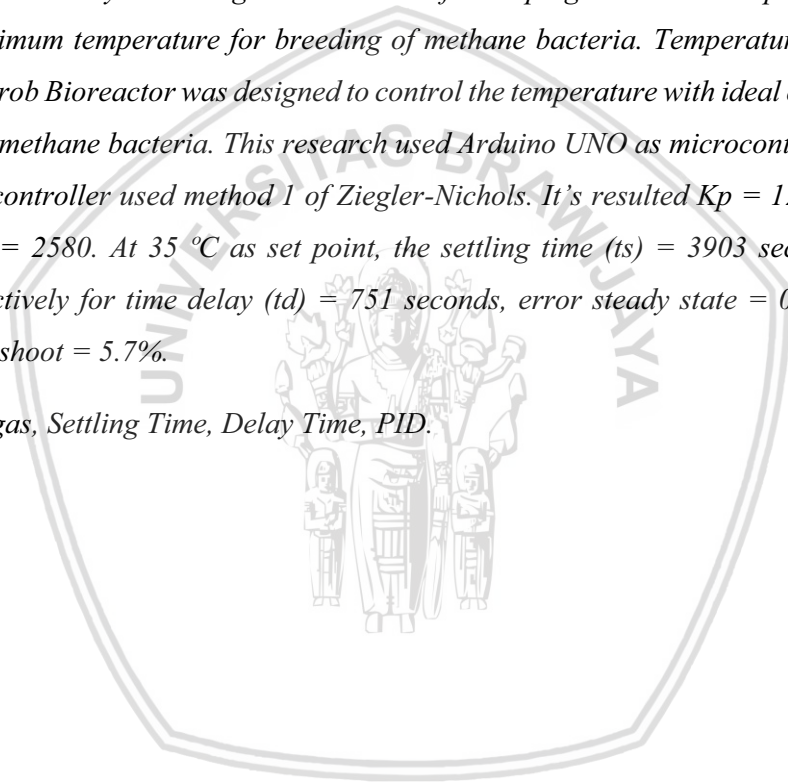
Kata Kunci: Biogas, Settling Time, Delay Time, PID.

SUMMARY

Saifuddin Zuhri, *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, Mei 2018, Temperature Control System on Anaerob Bioreactor based Microcontroller, Academic Supervisor: Rahmadwati.*

Biogas is an eco friendly fuel as one of the alternative resources. It formed by anaerobic activities or the fermentation of organic materials, like human's and animals' feces, also domestic composts. Temperature affected the process of anaerobic in bioreactor, which is the growth of microorganisms affected by temperatures changing. It is important to design a tem-perature control system using PID controller for keeping a constant temperature. At 35 °C is an optimum temperature for breeding of methane bacteria. Temperature Control System on Anaerob Bioreactor was designed to control the temperature with ideal conditions for breeding of methane bacteria. This research used Arduino UNO as microcontroller and the parameter controller used method 1 of Ziegler-Nichols. It's resulted $K_p = 12.28$, $K_i = 0.014$, and $K_d = 2580$. At 35 °C as set point, the settling time (t_s) = 3903 seconds was resulted, respectively for time delay (t_d) = 751 seconds, error steady state = 0.88% and Maximum Overshoot = 5.7%.

Keywords: *Biogas, Settling Time, Delay Time, PID.*



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Biogas	5
2.2 Bioreaktor	9
2.3 Arduino Uno	10
2.4 Pulse Width Modulation (PWM)	12
2.5 Elemen Pemanas / Heater	12
2.6 Pompa Air	14
2.7 Sensor Suhu DS18B20	14
2.8 Kontroler	15
2.8.1. Kontroler Proporsional (P)	16
2.8.2. Kontroler Integral (I)	16
2.8.3. Kontroler Differensial (D)	17
2.8.4. Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)	18
2.9. Metode Ziegler-Nichols	18
2.10. MOC 3021	21

2.11. Relay.....	22
2.12. Sensor MQ-4.....	23
2.13. Karakteristik Respon	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem.....	33
3.2 Spesifikasi Desain.....	34
3.3 Karakterisasi Setiap Blok	35
3.3.1 Karakterisasi heater	35
3.3.2. Karakterisasi Sensor Suhu DS18B20	37
3.3.3. Karakterisasi Plant.....	38
3.4. Perancangan Kontroler.....	40
3.5. Perancangan Perangkat Keras.....	42
3.6. Perancangan Algoritma.....	42
3.6.1. Flowchart Pembacaan Sensor Suhu.....	42
3.6.2. Flowchart Perhitungan Parameter PID	43
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1. Pengujian Tanpa Sistem Pengendali	45
4.2. Pengujian Menggunakan Kontroler	46
4.3 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan ketika diberi Gangguan	48
4.4. Perbandingan Hasil Produksi Biogas	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tabung Bioreaktor	9
Gambar 2.2 Arduino Uno	10
Gambar 2.3 Sinyal PWM	12
Gambar 2.4 Kompor Listrik	14
Gambar 2.5 Pompa Air	14
Gambar 2.6 Sensor DS18B20	15
Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proportional	16
Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral	16
Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Differential	17
Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID	18
Gambar 2.11 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot.	19
Gambar 2.12 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step	19
Gambar 2.13 Kurva Respon yang Berbentuk S	19
Gambar 2.14 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional	20
Gambar 2.15 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode Pcr	21
Gambar 2.16 Schematic MOC3021 (Robert T., 2013)	22
Gambar 2.17 Rangkaian relay pada modul	23
Gambar 2.18 Sensor MQ-4	24
Gambar 2.19 Diagram Blok Sistem Orde 1	25
Gambar 2.20 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Step	26
Gambar 2.21 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Impuls	26
Gambar 2.22 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Ramp	27
Gambar 2.23 Diagram Blok Sistem Orde 2	29
Gambar 2.24 Kurva respon step (underdamped)	30
Gambar 2.25 Kurva respon step (criticallydamped)	30
Gambar 2.26 Kurva respon step (overdamped)	31
Gambar 2.27 Respon unit step sistem orde dua	31
Gambar 3.1 Blok diagram sistem keseluruhan	34
Gambar 3.2 Rangkaian pengujian karakterisasi heater	35
Gambar 3.3 Grafik perubahan keluaran tegangan heater terhadap perubahan nilai PWM ..	37
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Pembacaan Termometer dengan Sensor DS18B20	38
Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi plant	39

Gambar 3.6 Grafik karakteristik tabung bioreaktor	39
Gambar 3.7 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)	40
Gambar 3.8 Grafik Penentuan K_p , K_i , K_d	41
Gambar 3.9 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu	43
Gambar 3.10 Flowchart Perhitungan Parameter PID	44
Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Tanpa Kontroler	45
Gambar 4.2 Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler	46
Gambar 4.3 Rangkaian Pengujian Menggunakan Kontroler	47
Gambar 4.4 Grafik Respon Sistem	47
Gambar 4.5 Rangkaian Pengujian Menggunakan Kontroler	48
Gambar 4.6 Grafik respon sistem ketika diberi gangguan	49
Gambar 4.7 Perbandingan gas yang dihasilkan	50



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno.....	10
Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan	20
Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan Critical Gain Kcr dan Critical Period Pcr	21
Tabel 3.1 Rangkaian pengujian karakterisasi heater	36
Tabel 3.2 Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dengan Termometer.....	37
Tabel 3.3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)	41
Tabel 4.1 Grafik Kandungan Gas Metana yang dihasilkan dengan Pengontrolan Suhu dan Tanpa Pengontrolan.	49





BAB I

PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi fosil sebagai bahan dasar bahan bakar minyak (BBM) memang sangat terbatas, di sisi lain konsumsi BBM sangat tinggi. Indonesia dengan jumlah penduduk 240 juta jiwa menghabiskan 1,25 juta barel/hari sedangkan produksi bbm dalam negeri hanya 649 barel/hari, sehingga terjadi defisit 608.000 barel/hari (Rahmatiah:2014). Defisit BBM ini yang menyebabkan Indonesia harus mengimpor untuk memenuhi kebutuhan BBM dalam negeri. Harga minyak duniapun berfluktuatif yang menyebabkan semakin tingginya harga yang harus dibayar oleh negara untuk memenuhi kebutuhan BBM dalam negeri. Akibatnya negara harus membayar mahal untuk memenuhi kebutuhan BBM dalam negeri. Hal ini terjadi karena bahan bakar minyak memang merupakan masalah yang krusial karena semakin minimnya sumber energi. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Kebijakan tersebut menekankan sumberdaya yang dapat diperbaharui sebagai alternatif. Salah satu sumber energi alternatif adalah biogas.

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk di antaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah biodegradable atau setiap limbah organik yang biodegradable dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Saat ini, banyak negara maju meningkatkan penggunaan biogas yang dihasilkan baik dari limbah cair maupun limbah padat atau yang dihasilkan dari sistem pengolahan biologi mekanis pada tempat pengolahan limbah.

Bioreaktor merupakan tabung reaktor yang berfungsi untuk mengolah limbah organik melalui proses fermentasi dengan bakteri anaerob. Dimana pertumbuhan mikroorganisme terjadi pada laju konstan dan keadaan lingkungan yang stabil. Dengan kata lain pertumbuhan mikroorganisme sangat rentan terhadap perubahan suhu. Karena perubahan suhu lingkungan dapat mempengaruhi kestabilan suhu yang ada di dalam bioreaktor.

Berdasarkan temperatur yang digunakan, terdapat tiga kondisi yang memungkinkan bakteri untuk hidup, yaitu kondisi psychrophilic di mana bakteri dapat hidup pada temperatur dibawah 25 °C, kondisi mesophilic di mana bakteri dapat hidup pada temperatur 30 - 42 °C dan kondisi thermophilic di mana bakteri dapat hidup pada temperatur 43 - 62 °C (Irfantry:2014).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, methanogen (mikroorganisme yang mengubah hidrogen dan asam asetat hasil pembentukan acidogen menjadi gas methan dan karbondioksida) membutuhkan kondisi lingkungan yang optimal untuk dapat memproduksi gas methana. Methanogen cukup sensitif dengan temperatur. Suhu 35 °C diyakini sebagai temperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri methana (Rahmatiah:2014).

Pada penelitian sebelumnya, sistem kontrol suhu pada bioreaktor sudah pernah dibuat dengan menggunakan kontroler On-Off (Irvani,2014). Kontroler On-Off termasuk dari bagian sistem kontrol diskrit. System kontrol diskrit adalah sistem kontrol yang tidak dapat berjalan terus menerus, dimana kelemahan dari sistem kontrol ini adalah perubahan dari besaran yang dikendalikan tidak dapat diikuti secara kontinyu sehingga aksi koreksinya tidak proporsional.

Berdasarkan kebutuhan produksi biogas maka diperlukan sistem pengendalian suhu pada dinding bioreaktor untuk menjaga stabilitasnya. Sistem pengendali suhu pada dinding bioreaktor disini berupa pengendalian suhu menggunakan heater yang diletakkan pada dinding bioreaktor untuk menjaga temperatur bioreaktor dari perubahan suhu karena pengaruh lingkungan. Apabila suhu dalam bioreaktor terlalu rendah atau tinggi maka dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme (methanogen) di dalamnya dan mengakibatkan proses dalam bioreaktor terhenti.

Berdasarkan permasalahan diatas maka perlu adanya sebuah sistem bioreaktor yang mampu menjaga kestabilan suhu saat proses fermentasi berlangsung. Proporsional Integral Differensial (PID) merupakan salah satu kontroler yang banyak digunakan untuk pengendalian suhu dikarenakan memiliki respon yang baik serta eror yang relatif kecil. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan kontroler PID pada pengaturan suhu dinding bioreaktor dengan harapan suhu pada saat fermentasi tetap stabil.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem Bioreaktor Anaerob yang dapat mengontrol suhu yang sesuai dengan suhu ideal perkembangbiakan bakteri methan?
2. Bagaimana respon sistem ketika diberi gangguan ?

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian sehingga perlu adanya pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Dalam perancangan skripsi ini permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Media yang digunakan penelitian adalah miniatur yang dibuat dengan desain sendiri.
2. Pembahasan ditekankan pada pengendalian suhu sistem dengan menggunakan kontroler PID.
3. Pengendalian suhu diatur dengan mengatur heater pada dinding bioreaktor.
4. Sensor suhu yang digunakan adalah sensor DS18B20. Sensor ini digunakan sebagai input pengontrolan sistem bioreaktor.
5. Menggunakan Arduino Uno sebagai komponen utama rangkaian kontroler.
6. Tidak membahas biomassa yang digunakan dan kualitas gas yang dihasilkan.
7. Faktor yang mempengaruhi produksi biogas seperti pH, *Volatile Fatty Acid* (VFA), amonia, makro dan mikronutrien serta komponen racun dianggap tetap.
8. Bahan yang digunakan berupa air dan kotoran sapi yang di campur dengan perbandingan 1:1.
9. Heater yang digunakan yaitu berupa kompor listrik jadi yang ada di pasaran dengan daya 600 watt.

1.4 Tujuan

Merancang sebuah sistem bioreaktor anaerob yang dapat mengontrol serta mempertahankan suhu untuk tumbuh kembang bakteri methan, sehingga mampu mempercepat proses produksi gas methan.

1.5 Manfaat

Mengetahui cara mengatur dan mempertahankan suhu bioreaktor sehingga mampu mempercepat produksi gas methan. Juga sebagai referensi dalam pengembangan bioreaktor anaerob sebagai alat alternatif penghasil gas, khususnya bagi masyarakat dipedesaan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini, meliputi teori tentang biogas, bioreaktor, serta teori mengenai komponen yang berkaitan dengan penelitian.

2.1 Biogas

2.2.1 Sejarah Penemuan Biogas

Gas metan ini sudah lama digunakan oleh warga Mesir, China, dan Roma kuno untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas. Sedangkan, proses fermentasi lebih lanjut untuk menghasilkan gas metan ini pertama kali ditemukan oleh Alessandro Volta (1776). Hasil identifikasi gas yang dapat terbakar ini dilakukan oleh Willam Henry pada tahun 1806. Dan Becham (1868), murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882), adalah orang pertama yang memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan metan. Adapun alat penghasil biogas secara anaerobik pertama dibangun pada tahun 1900. Pada akhir abad ke-19, riset untuk menjadikan gas metan sebagai biogas dilakukan oleh Jerman dan Perancis pada masa antara dua Perang Dunia. Selama Perang Dunia II, banyak petani di Inggris dan Benua Eropa yang membuat alat penghasil biogas kecil yang digunakan untuk menggerakkan traktor. Akibat kemudahan dalam memperoleh BBM dan harganya yang murah pada tahun 1950-an, proses pemakaian biogas ini mulai ditinggalkan. Tetapi, di negara-negara berkembang kebutuhan akan sumber energi yang murah dan selalu tersedia selalu ada. Oleh karena itu, di India kegiatan produksi biogas terus dilakukan semenjak abad ke-19. Saat ini, negara berkembang lainnya, seperti China, Filipina, Korea, Taiwan, dan Papua Nugini, telah melakukan berbagai riset dan pengembangan alat penghasil biogas. Selain di Negara berkembang, teknologi biogas juga dikembangkan di Negara maju seperti Jerman.

2.2.2 Proses Pembentukan Biogas

Gas metan diperoleh melalui dekomposisi yang berjalan tanpa kehadiran udara (anaerob). Tingkat keberhasilan pembuatan biogas sangat tergantung pada proses yang terjadi dalam dekomposisi tersebut. Salah satu kunci dalam proses dekomposisi secara anaerob pada pembuatan biogas adalah kehadiran

mikroorganisme. Biogas dapat diperoleh dari bahan organik melalui proses “kerja sama” dari tiga kelompok mikroorganisme anaerob.

Pertama, kelompok mikroorganisme yang dapat menghidrolisis polimer-polimer organik dan sejumlah lipid menjadi monosakarida, asam-asam lemak, asam-asam amino, dan senyawa kimia sejenisnya.

Kedua, kelompok mikroorganisme yang mampu memfermentasi produk yang dihasilkan kelompok mikroorganisme pertama menjadi asam-asam organik sederhana seperti asam asetat, dikenal sebagai mikroorganisme penghasil asam (acidogen).

Ketiga, kelompok mikroorganisme yang mengubah hidrogen dan asam asetat hasil pembentukan acidogen menjadi gas metan dan karbondioksida dikenal dengan nama methanogen. Methanogen terdapat dalam kotoran sapi. Lambung (rumen) sapi merupakan tempat yang cocok bagi perkembangan methanogen. Gas metan alami dihasilkan di dalam lambung sapi tersebut. Proses pembuatan biogas tidak jauh berbeda dengan proses pembentukan gas metan dalam lambung sapi. Pada prinsipnya, pembuatan biogas adalah menciptakan gas metan melalui manipulasi yang mendukung bagi proses perkembangan methanogen seperti yang terjadi dalam lambung sapi. Methanogen membutuhkan kondisi lingkungan yang optimal untuk dapat memproduksi gas metan:

1. Proses pembuatan biogas dari kotoran sapi harus dilakukan dalam sebuah reaktor yang tertutup rapat untuk menghindari masuknya oksigen (anaerob).
2. Reaktor harus bebas dari kandungan logam berat dan sulfida (sulfides) yang dapat mengganggu keseimbangan mikroorganisme.
3. Gas metan diperoleh melalui komposisi methanogen yang seimbang. Jika jumlah methanogen dalam kotoran sapi masih dinilai kurang, maka perlu dilakukan penambahan methanogen tambahan berbentuk strater atau substrat ke dalam reaktor. Methanogen dapat berkembang dengan baik dalam lingkungan cair (aqueous) dengan pH 6,5 sampai 7,5 dan temperatur 35 °C.
4. Methanogen cukup sensitif dengan temperatur. Temperatur 35 °C diyakini sebagai temperatur optimum untuk perkembangbiakan bakteri metan. Awalnya bahan-bahan organik ditampung terlebih dahulu dalam suatu kotak beton/bata/besi. Dibutuhkan waktu lebih kurang dua minggu sampai satu bulan sebelum dihasilkan gas awal. Campuran tersebut selalu ditambah setiap hari dan sesekali diaduk. Di dalam kotak ini, terjadi proses perombakan

kotoran ternak menjadi bahan organik oleh mikroba dalam kondisi tanpa oksigen (anaerob). Mikroba yang bekerja memperoleh makanan dari bahan organik berupa karbohidrat, lemak, protein, fosfor dan unsur-unsur mikro.

2.2.3 Tahap-tahap proses pencernaan material organik:

1. Hidrolisis

Pada tahap ini, molekul organik yang kompleks diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti karbohidrat (simple sugars), asam amino, dan asam lemak.

2. Asidogenesis

Pada tahap ini terjadi proses penguraian yang menghasilkan amonia, karbondioksida, dan hidrogen sulfide.

3. Asetogenesis.

Pada tahap ini dilakukan proses penguraian produk acidogenesis, menghasilkan hidrogen, karbon dioksida, dan asetat.

4. Methanogenesis.

Ini adalah tahapan terakhir dan sekaligus yang paling menentukan, yakni dilakukan penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya untuk menghasilkan gas metan (CH_4). Hasil lain dari proses ini berupa karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya.

2.2.4 Bahan Baku Pembentuk Biogas.

1. Biogas dari eceng gondok.

Eceng gondok adalah tanaman yang mengandung selulosa dalam jumlah banyak dan selulosa inilah yang bisa digunakan sebagai bahan baku alternatif. Eceng gondok dirajang / ditumbuk halus kemudian ditambah air bersih. Eceng gondok kemudian dimasukkan ke dalam tabung fermentasi. 20 kg eceng gondok dicampur dengan 20 kiloliter air, lantas diaduk merata dapat menghasilkan gas yang dapat dipakai selama 7 hari, dan setiap harinya dapat dipakai selama 30 menit. Eceng gondok seberat 30 kg yang telah dirajang tanpa ditumbuk dapat menghasilkan gas yang dapat dipakai selama 7 hari, dan setiap harinya dapat dipakai selama 90 menit.

2. Biogas kotoran organik

Kotoran organik tersebut dicampur dengan air. Biasanya campuran antara kotoran dan air menggunakan perbandingan 1:1 atau bisa juga menggunakan perbandingan 1:1,5.

3. Biogas dari briket sampah

Daun-daunan itu dapat diambil dari sisa sampah pasar atau sayuran seperti bayam, kangkung, atau sawi yang sudah terbuang. Persentase komposisi bahan pembuatan briket organik adalah 80% arang sampah organik kering dan campuran daun segar. Jadi, bila di campurkan 800 g sampah organik membutuhkan 200 g daun segar. Setelah tercampur rata, adonan dicetak dengan ukuran dan bentuk sebagai briket. Briket itu dijemur di bawah sinar matahari sampai kering dengan cara meletakkan dan mengangkatnya di telapak tangan. Briket kering terasa ringan dan jelaga di permukaan tidak terlalu mengotori telapak tangan

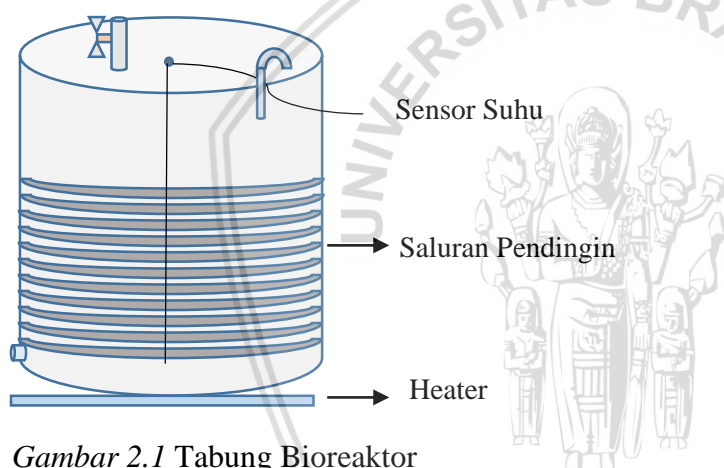
2.2.5 Prinsip Penggunaan Teknologi Biogas.

Pada prinsipnya, teknologi biogas adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan sehingga dihasilkan gas metan. Gas metan adalah gas yang mengandung satu atom C dan 4 atom H yang memiliki sifat mudah terbakar. Gas metan yang dihasilkan kemudian dapat dibakar sehingga dihasilkan energi panas. Bahan organik yang bisa digunakan sebagai bahan baku industri ini adalah sampah organik, limbah yang sebagian besar terdiri dari kotoran, dan potongan-potongan kecil sisa-sisa tanaman, seperti jerami dan sebagainya, serta air yang cukup banyak. Proses ini sebetulnya terjadi secara alamiah sebagaimana peristiwa ledakan gas yang terbentuk di bawah tumpukan sampah di Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA). Prinsip pembangkit biogas, yaitu menciptakan alat yang kedap udara dengan bagian-bagian pokok terdiri atas pencernaan, lubang pemasukan bahan baku dan pengeluaran lumpur sisa hasil pencernaan, dan pipa penyaluran biogas yang terbentuk. Di dalam reaktor ini terdapat bakteri metan yang mengolah limbah bio atau biomassa dan menghasilkan biogas. Dengan pipa yang didesain sedemikian rupa, gas tersebut dapat dialirkan ke kompor yang terletak di dapur. Gas tersebut dapat digunakan untuk keperluan memasak dan lain-lain. Alat biogas ini terbagi atas dua tipe, tipe terapung (floating type) yang dikembangkan di India dan tipe kubah tetap (fixeddome type) yang dikembangkan di China.

Keuntungan pembangkit biogas selain sebagai sumber energi adalah untuk mengatasi masalah sampah organik terutama di pedesaan seperti feses, urine, sisa makanan, embrio, kulit telur, lemak, darah, bulu, kuku, tulang, tanduk, isi rumen, dan sebagainya. Sampah ini akan semakin menjadi masalah ketika adanya pengembangan usaha di pedesaan karena semakin berkembang usaha peternakan, maka semakin meningkat limbah yang dihasilkan (Rahmatiah: 2014).

2.2 Bioreaktor

Bioreaktor atau dikenal juga dengan nama fermentor adalah sebuah peralatan atau sistem yang mampu menyediakan sebuah lingkungan biologis yang dapat menunjang terjadinya reaksi biokimia dari bahan mentah menjadi bahan yang dikehendaki. Reaksi biokimia yang terjadi di dalam bioreaktor melibatkan organisme atau komponen biokimia aktif (enzim) yang berasal dari organisme tertentu, baik secara aerobik maupun anaerobik.



Gambar 2.1 Tabung Bioreaktor

Bioreaktor yang digunakan terbuat dari panci/dandang aluminium dengan volume 21 Liter yang dilengkapi dengan beberapa bagian seperti pada gambar 2.1 diatas.

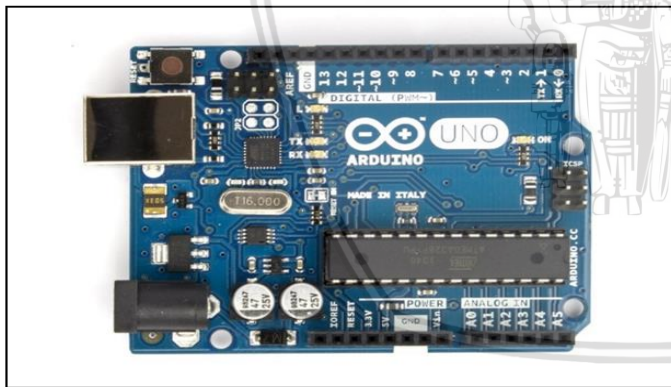
- 1) Bioreaktor harus kedap udara, tidak boleh bocor sehingga sebelum digunakan harus diuji kebocorannya terlebih dahulu.
- 2) Heater yang digunakan yaitu berupa kompor listrik jadi yang ada di pasaran dengan daya 600 watt.
- 3) Sistem pendingin yang digunakan untuk menurunkan suhu permukaan dinding terdiri dari Pompa 220 V/50 Hz/12W dengan flowrate 960 l/h dan Selang air dengan diameter 1.5 cm yang dililitkan pada dinding bioreaktor.

2.3 Arduino Uno

Mikrokontroler adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai penendalil rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program di dalamnya. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai input dan output serta kontrol dengan program yang bisa ditulis dan dihapus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler digunakan dalam produk dan alat yang dikendalikan secara otomatis.

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis Atmega328. Memiliki 14 pin input dan output digital, dimana 6 pin diantara pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Mega ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau dengan adaptor AC-DC untuk menjalankannya.

“Uno” berarti “satu” dalam Bahasa Italia dan nama ini diberikan untuk menandai peluncuran Arduino 1.0. Arduino Uno dan versi 1.0 akan menjadi versi referensi Arduino. Tampilan fisik Arduino Uno dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2 2 Arduino Uno

Sumber: Ibrahim, 2016

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 Volt
Input Voltage (disarankan)	7 - 12 Volt
Input Voltage (batas akhir)	6 - 20 Volt

Digital I/O Pin	14 (6 pin sebagai output PWM)
Analog Input Pin	6
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (0,5 KB untuk bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

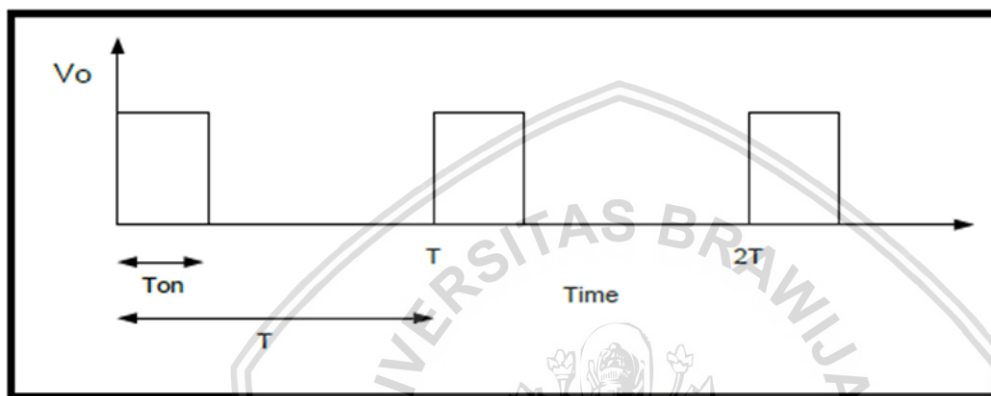
Masing-masing dari 14 pin UNO dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan perintah fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()` yang menggunakan tegangan operasi 5 volt. Tiap pin dapat menerima arus maksimal hingga 40mA dan resistor internal pull-up antara 20-50kohm.

- 1) Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Sebagai penerima (RX) dan pemancar (TX) TTL serial data. Pin ini terkoneksi untuk pin korespondensi chip ATmega8U2 USB-toTTL Serial.
- 2) External Interrupts: 2 dan 3. Pin ini berfungsi sebagai konfigurasi trigger saat interupsi value low, naik, dan tepi, atau nilai value yang berubah-ubah.
- 3) PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Melayani output 8-bit PWM dengan fungsi `analogWrite()`.
- 4) SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin yang support komunikasi SPI menggunakan SPI library.
- 5) LED: 13. Terdapat LED indikator bawaan (built-in) dihubungkan ke digital pin 13, ketika nilai value HIGH led akan ON, saat value LOW led akan OFF.

Arduino Uno memiliki 6 analog input tertulis di label A0 hingga A5, masing-masingnya memberikan 10 bit resolusi (1024). Secara asal input analog tersebut terukur dari 0 (ground) sampai 5 volt, itupun memungkinkan perubahan teratas dari jarak yang digunakan oleh pin AREF dengan fungsi `analogReference()`.

2.4 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah salah satu jenis modulasi. Modulasi PWM dilakukan dengan cara mengubah lebar pulsa dari suatu pulsa data. Total 1 periode (T) pulsa dalam PWM adalah tetap, dan data PWM pada umumnya menggunakan perbandingan pulsa positif terhadap total pulsa. Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan duty cycle bervariasi dari 0%-100%. Dengan mengatur duty cycle akan diperoleh output yang diinginkan. Duty cycle adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada plant. Sinyal PWM secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sinyal PWM

Sumber: Ibrahim, 2016: 10

$$\text{Duty Cycle} = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \quad (2-1)$$

dimana:

T_{on} = periode logika tinggi

T = periode

2.5 Elemen Pemanas / Heater

Pemanasan merupakan proses pemberian energi (tenaga) panas terhadap suatu obyek yang berasal dari sumber energi panas. Dalam kehidupan sehari-hari terdapat beberapa sumber energi panas yang sering digunakan, diantaranya matahari, api, dan listrik.

Secara umum, proses perpindahan panas dapat berlangsung dengan beberapa cara, diantaranya:

1. Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium. Proses perpindahan panas secara konduksi terjadi karena molekul-molekul

suatu bahan saling berbenturan atau bersinggungan, dengan demikian saling meneruskan energi panas yang mereka miliki. Proses perpindahan panas secara konduksi tidak terjadi semua bahan, umumnya penghantaran panas hanya terjadi pada bahan yang memiliki daya hantar yang baik (konduktor).

2. Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses dimana mengalirnya panas dari suatu benda bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah tanpa adanya perantara dari benda lain. Pemindahan panas lewat pancaran dilakukan oleh gelombang-gelombang elektromagnetik. Cara perpindahan ini juga dapat berlangsung dalam ruang hampa udara, sebagai contohnya adalah perambatan panas pada oven. Perpindahan panas secara radiasi atau pancaran ini kebanyakan dimanfaatkan oleh petani dalam pembudidayaan tanaman pada ruangan kaca. Bila seberkas energi panas mengenai suatu benda maka sebagian energi tersebut akan diserap, dipantulkan, dan sebagian diteruskan melalui benda tersebut. Ciri khas pertukaran energi secara radiasi yang penting adalah sifatnya menyebar secara merata ke segala arah.

3. Konveksi

Zat cair dan gas tidak dapat menghantarkan panas dengan baik. Pemindahan panas lewat zat cair dan gas terutama terjadi karena konveksi, yaitu karena adanya perbedaan suhu. Perpindahan panas secara konveksi berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama panas akan mengalir dengan cara konduksi yaitu dari sumber panas menuju permukaan benda, kemudian energinya berpindah ke benda lainnya sehingga menaikkan suhu dan energi disekitarnya. Tahap kedua, partikel-partikel bergerak dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. Udara kemudian akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya pada partikel fluida yang lain.

Perpindahan panas yang berlangsung pada alat ini adalah secara konduksi. Alat pemanas (heater) yang akan digunakan adalah berupa kompor listrik jadi yang ada di pasaran dengan daya 600 watt.



Gambar 2.4 Kompor Listrik

2.6 Pompa Air

Pompa Air adalah suatu alat atau mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge). Dengan kata lain, pompa berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan). Tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran.

Pada skripsi ini digunakan pompa air untuk akuarium dengan catu daya sebesar 220 V yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pompa Air

2.7 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu merupakan salah satu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan lalu mengkonversi ke besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis nilainya.. Terdapat empat macam sensor suhu antara lain; Thermokopel,

Thermistor, RTD (Resistance Temperature Detectors), dan IC LM 35. Tentunya tiap jenis alat tersebut mempunyai fungsi dan cara kerja yang berbeda-beda.

Sensor suhu DS18B20 yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6 merupakan sensor yang memiliki kemampuan tahan air (waterproof). DS18B20 cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit atau basah. Karena output data sensor suhu ini merupakan data digital, maka tidak perlu khawatir terhadap degradasi data ketika menggunakan untuk jarak yang jauh. DS18B20 menyediakan 9 hingga 12-bit (yang dapat dikonfigurasi) data.

Karena setiap sensor DS18B20 memiliki silicon serial number yang unik, maka beberapa sensor DS18B20 dapat dipasang dalam 1 bus. Hal ini memungkinkan pembacaan suhu dari berbagai tempat. Meskipun secara datasheet sensor ini dapat membaca bagus hingga 125°C, namun dengan penutup kabel dari PVC disarankan untuk penggunaan tidak melebihi 100°C. Bentuk sensor DS18B20 adalah sebagai berikut:



Gambar 2.6 Sensor DS18B20

2.8 Kontroler

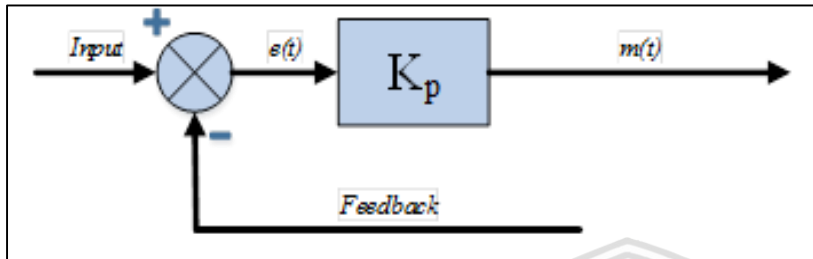
Kontroler dalam sebuah sistem kontrol mempunyai kontribusi yang besar terhadap perilaku sistem. Hal itu disebabkan oleh tidak dapat dirubahnya komponen penyusun sistem tersebut. Artinya, karakteristik plant harus diterima sebagaimana adanya, perubahan perilaku sistem hanya dapat dilakukan melalui penambahan kontroler.

Salah satu fungsi kontroler adalah mengurangi sinyal error, sinyal error adalah perbedaan nilai setpoint dengan nilai output plant. Setpoint adalah nilai referensi atau nilai yang diinginkan, sedangkan output plant adalah nilai aktual yang terukur pada output plant. Semakin kecil nilai sinyal error maka kinerja sistem kontrol dinilai semakin baik.

Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai output plant dengan nilai setpoint, menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan error (Ogata K, 1997).

2.8.1. Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional memiliki output yang besarnya sebanding dengan besarnya sinyal error. Output kontroler merupakan perkalian antara penguatan proporsional dengan sinyal error. Gambar 2.7 menunjukkan diagram blok kontroler proporsional dan Persamaan 2-2 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.7 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata K., 1997: 201

$$m(t) = K_p e(t) \quad (2-2)$$

dimana:

K_p = adalah penguatan proporsional

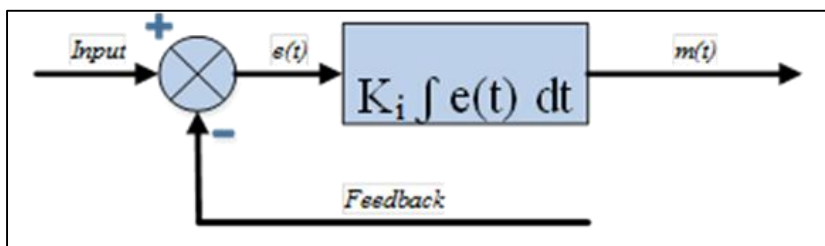
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Penambahan K_p akan mempercepat kecepatan respon transient dan mengurangi kesalahan keadaan mantap.

2.8.2. Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti sebuah operasi integral, output kontroler dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan perubahan nilai sinyal error. Output kontroler merupakan penjumlahan terus menerus dari perubahan sinyal error. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler integral dan Persamaan 2-3 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.8 Diagram Blok Kontroler Integral

Sumber: Ogata K., 1997: 202

$$m(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2-3)$$

dimana:

K_i = adalah penguatan integral

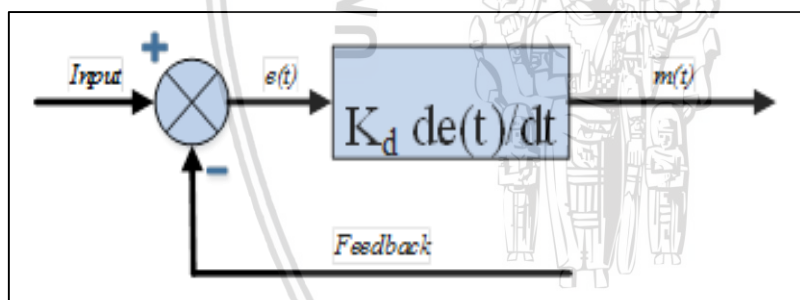
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan sinyal error dalam keadaan mantap.

2.8.3. Kontroler Differensial (D)

Kontroler derivative memiliki sifat seperti suatu operasi derivative. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Kontroler ini tidak akan menghasilkan output saat sinyal error konstan sehingga tidak akan mempengaruhi keadaan mantap. Gambar 2.9 menunjukkan diagram blok kontroler derivative dan persamaan 2-4 menunjukkan hubungan antara output kontroler dengan sinyal error.



Gambar 2.9 Diagram Blok Kontroler Differential

Sumber: Ogata K., 1997: 203

$$m(t) = K_d (de(t)/dt) \quad (2-4)$$

dimana:

K_d = adalah penguatan derivative

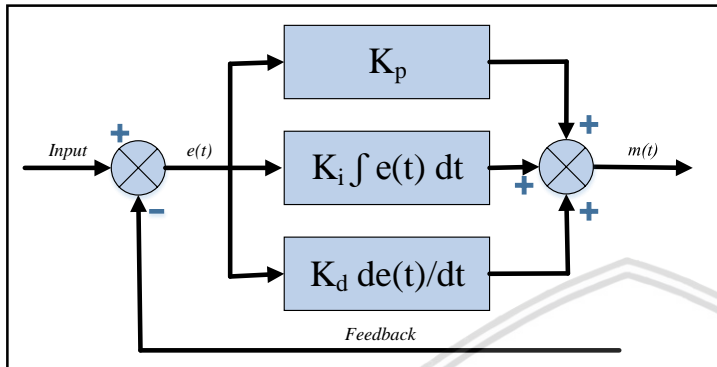
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transient.

2.8.4. Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan derivative yang terlihat dalam Gambar 2.10 mempunyai keunggulan dapat saling menutupi kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Persamaan 2-5):



Gambar 2.10 Diagram Blok Kontroler PID

Sumber: Ogata K., 1997: 204

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2-5)$$

dimana:

K_p = adalah penguatan proporsional

K_i = adalah penguatan integral

K_d = adalah penguatan derivative

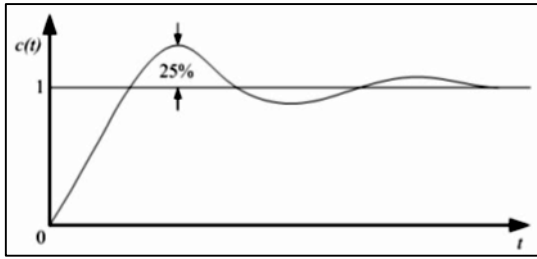
$e(t)$ = sinyal error

$m(t)$ = output kontroler

2.9. Metode Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari plant yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plant. (Ogata, K., 1997)

Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai 25% maximum overshoot pada respon unit step, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11.

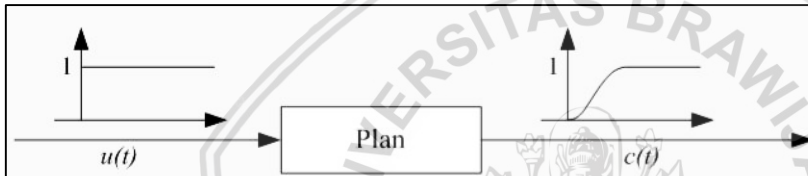


Gambar 2.11 Kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan 25% Maximum Overshoot.

Sumber: Ogata, K., 1997

a. Metode Pertama

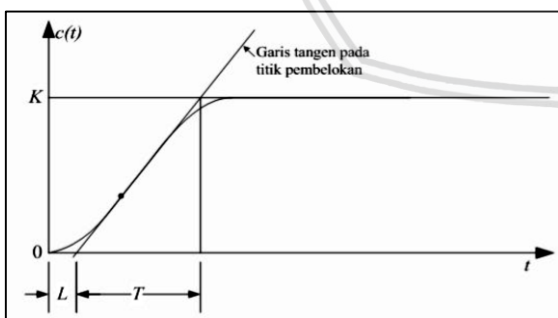
Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12



Gambar 2.12 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step.

Sumber: Ogata, K. 1997

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau dominan complex-conjugate poles, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam Gambar 2.13 jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.13 Kurva Respon yang Berbentuk S

Sumber: Ogata, K. 1997

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T. Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan

perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam Gambar 2.13 Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan persamaan (2-6) sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2-6)$$

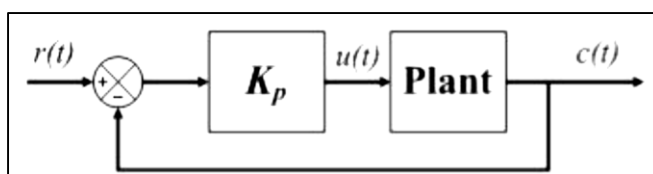
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Aturan Penalaan Ziegler-Nichols Berdasarkan Respon Unit Step Dari Plan

Type Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

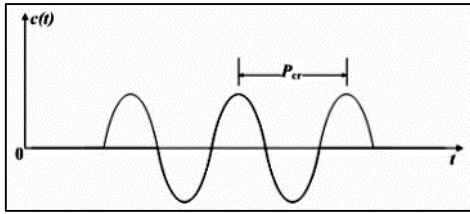
b. Metode Kedua

Dalam metode kedua ziegler-nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.14. dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam gambar 2.15. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam Tabel 2.3 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.14 Sistem Loop Tertutup dengan Kontroler Proporsional

Sumber: Ogata, K., 1997



Gambar 2.15 Osilasi Berkesinambungan dengan Periode P_{cr}

Sumber: Ogata, K., 1997

Tabel 2.3 Aturan Dasar Ziegler-Nichols berdasarkan Critical Gain K_{cr} dan Critical Period P_{cr}

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.60 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

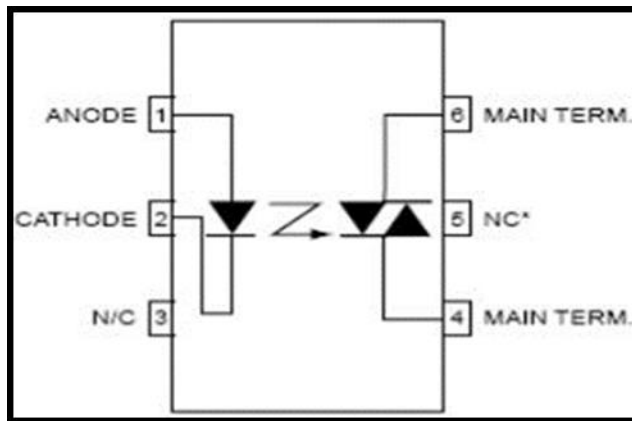
2.10. MOC 3021

Data yang telah diolah oleh controller PID pada mikrokontroler akan dikeluarkan oleh pin I/O mikrokontroler. Keluaran dari mikrokontroler ini akan menjadi masukan rangkaian driver elemen pemanas berupa opto triac tipe MOC3021.

MOC3021 Komponen ini merupakan jenis opto isolator yang digunakan sebagai antar-muka (interface) antara peralatan dengan sumber tegangan DC (seperti mikrokontroler, PC), dengan peralatan yang menggunakan sumber tegangan AC (lampu, motor listrik, pemanas). MOC3021 secara umum berfungsi hampir sama seperti sebuah saklar, dimana sebuah picu pada pin masukan dibutuhkan untuk trigger triac pada keluaran.

Konfigurasi Pin MOC3021 ditunjukkan pada Gambar 2.16. Pin 1 merupakan pin masukan anoda, pin 2 merupakan pin masukan katoda, pin 3 dan 5 tidak digunakan, simbol NC sama dengan No Connection dalam artian tidak ada sambungan.

MOC3021 sendiri tidak dapat berfungsi sama seperti triac pada umumnya, yang langsung dapat menjadi driver bagi beban, sehingga Pin 6 (main terminal triac MOC) harus dihubungkan dengan main terminal triac eksternal. Pin 4 harus dihubungkan dengan gate triac eksternal.



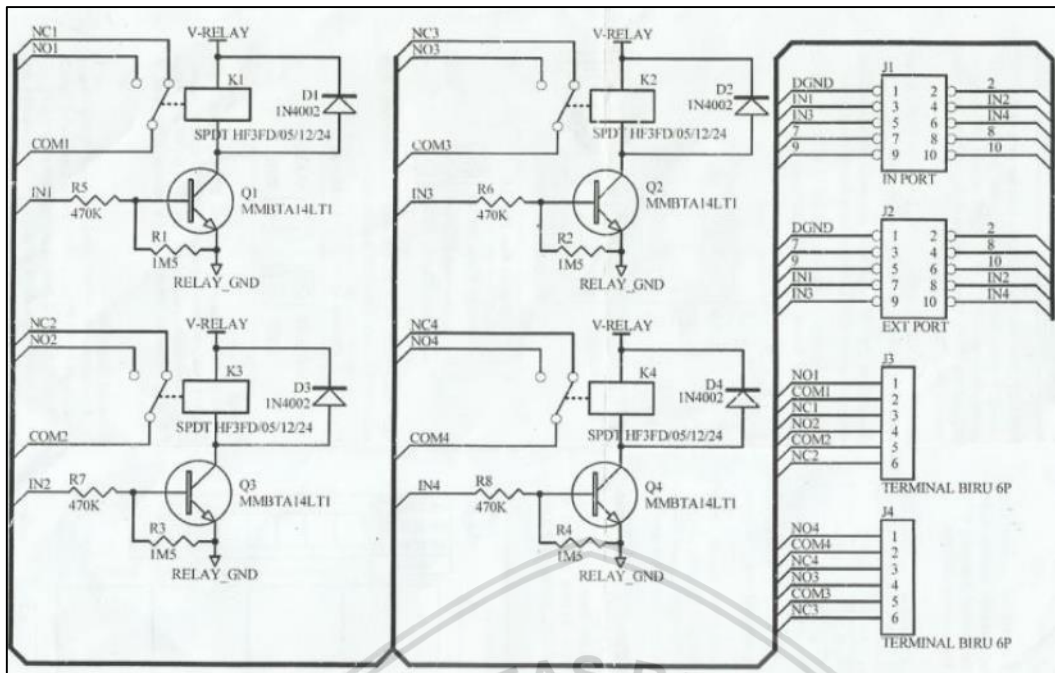
Gambar 2.16 Schematic MOC3021 (Robert T., 2013)

Sumber: MOC3021 Datasheet Book: 1.

2.11. Relay

Relay adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikontrol secara elektronik (elektro magnetik). Saklar pada relay akan terjadi perubahan posisi OFF ke ON pada saat diberikan energi elektro magnetik pada armatur relay tersebut. Relay pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu saklar mekanik dan sistem pembangkit elektromagnetik (induktor inti besi). Saklar atau kontaktor relay dikendalikan menggunakan tegangan listrik yang diberikan ke induktor pembangkit magnet untuk menarik armatur tuas saklar atau kontaktor relay. Relay yang ada dipasaran terdapat berbagai bentuk dan ukuran dengan tegangan kerja dan jumlah saklar yang bervariasi.

Pada alat yang dirancang ini menggunakan relay dengan tipe Single Pole Double Throw (SPDT) dengan tegangan 5 V, relay ini memiliki 5 terminal yaitu terdiri dari 2 terminal untuk input kumparan elektromagnetik dan 3 terminal saklar. Relay jenis ini memiliki 2 kondisi NO dan NC. Pada gambar 4 menjelaskan tentang bagaimana rangkaian dari relay yang digunakan. Pada gambar 4 menggunakan komponen relay sebanyak empat buah dengan tipe SPDT. Jadi pada modul relay yang digunakan dapat menghasilkan empat kemungkinan kondisi on atau off. Berikut adalah rangkaian untuk modul relay yang digunakan pada perancangan alat:



Gambar 2.17 Rangkaian relay pada modul

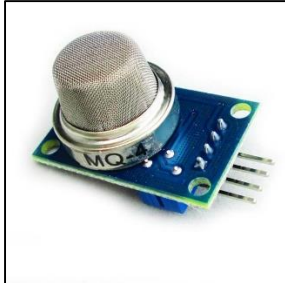
2.12. Sensor MQ-4

Sensor MQ-4 merupakan sensor yang mampu melakukan pendeteksian kadar gas metana serta gas natural yang terdapat pada udara. Modul ini sudah dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung seperti resistor *pull-up*, LED indikator serta *jumper* yang ditujukan untuk memudahkan proses penggunaannya.

Memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan kerja: 5 VDC.
- Target gas: metana (CH₄) dan gas natural.
- Range deteksi: 200 - 10000 ppm.
- Antarmuka :
 - UART TTL: 38400 bps, 8-bit data, 1-bit stop, *no parity, no flow control*.
 - I2C: dapat di-cascade hingga 8 buah modul dalam satu jalur komunikasi.
- Menggunakan ADC 10-bit untuk konversi data analog dari sensor.
- Memiliki output berupa data digital dengan nilai 0 - 1023 (hasil konversi ADC).
- Terdapat 1 buah *variable resistor* untuk pengaturan nilai *threshold* secara manual.
- Disediakan beberapa *jumper* untuk konfigurasi *pull-up* I2C, resistor beban, serta *variable resistor threshold*.
- Memiliki fitur kendali on/off dengan 2 mode kerja pilihan yaitu *hysteresis* dan *window*.

- Pin I/O yang kompatibel dengan level tegangan TTL dan CMOS.
- Memiliki 2 buah LED sebagai indikator.
- Dilengkapi dengan rangkaian EMI filter untuk mengurangi gangguan elektromagnetik.



Gambar 2.18 Sensor MQ-4

Untuk merubah nilai ADC menjadi konsentrasi (C) gas dalam satuan ppm (part per million) digunakan persamaan berikut (Ywalitasanti, 2015):

$$C = X \times \text{Konversi ADC} \quad (2-7)$$

$$X = \frac{\text{range}}{\text{total bit}} \quad (2-8)$$

Rentang deteksi ppm sensor MQ-4 adalah 200-10.000 ppm. Ini menunjukkan nilai minimum yang mampu dideteksi oleh sensor adalah 300 ppm. Jika kurang dari nilai ini, maka sensor tidak dapat mendeteksi adanya gas. Sedangkan nilai maksimum yang dapat diukur adalah 10.000 ppm. Jika lebih dari nilai tersebut, sensor tidak akan dapat menampilkan nilai yang tepat. Dengan demikian, range konsentrasi sensor dapat dihitung sebagai berikut (Ywalitasanti, 2015):

$$\begin{aligned} \text{Range} &= \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum} \\ &= 10.000 \text{ ppm} - 200 \text{ ppm} \\ &= 9.800 \text{ ppm} \end{aligned}$$

Untuk ADC pada Arduino UNO R3, total bitnya yaitu 1024. Sehingga nilai X menjadi sebagai berikut:

$$X = \frac{\text{range}}{\text{total bit}}$$

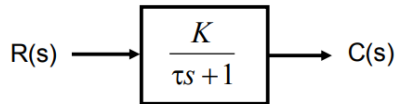
$$X = \frac{9.800 \text{ ppm}}{1.024}$$

$$X = 9,47265625 \text{ ppm/bit}$$

2.13. Karakteristik Respon

2.13.1 Respon Sistem Orde 1

Suatu sistem dikatakan ber-orde satu jika fungsi alihnya mempunyai variabel s dengan pangkat tertinggi satu.



Gambar 2.19 Diagram Blok Sistem Orde 1

Fungsi alih sistem orde satu dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2-9)$$

Dimana:

K = Gain Overall

τ = Konstanta Waktu

- **Respon Step**

Masukan unit step:

$$r(t) = 1 \cdot u(t) \rightarrow R(s) = \frac{1}{s}$$

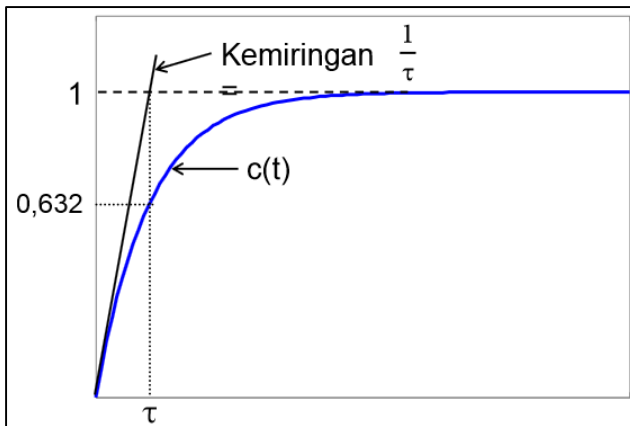
Keluaran:

$$C(s) = \left(\frac{K}{\tau s + 1} \right) \frac{1}{s} = \frac{K/\tau}{s(s + \frac{1}{\tau})} = K \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s + 1/\tau} \right)$$

Sehingga,

$$c(t) = K \left(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t} \right) \quad t \geq 0$$

Kurva respon step sistem orde pertama untuk $K = 1$:



Gambar 2.20 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Step

- **Respon Impuls**

Masukan Unit Impuls:

$$r(t) = \delta(t) \rightarrow R(s) = 1$$

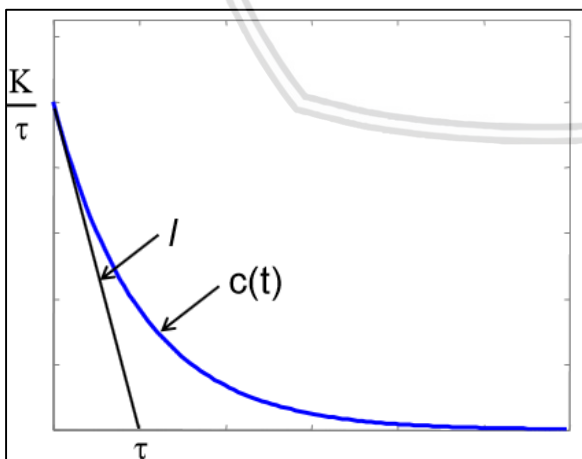
Keluaran:

$$C(s) = \left(\frac{K}{\tau s + 1} \right) \cdot 1 = \frac{K/\tau}{s + 1/\tau}$$

Sehingga,

$$c(t) = \frac{K}{\tau} e^{-\frac{1}{\tau}t} \quad t \geq 0$$

Kurva respon impuls sistem orde pertama untuk $K = 1$:



Gambar 2.21 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Impuls

- **Respon Ramp**

Masukan Unit Impuls:

$$r(t) = t.u(t) \rightarrow R(s) = \frac{1}{s^2}$$

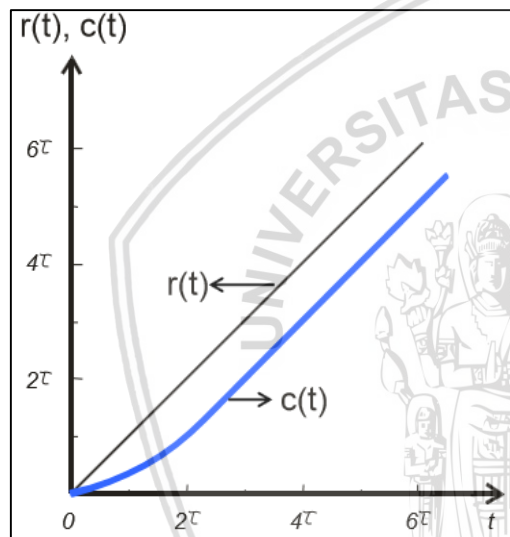
Keluaran:

$$C(s) = \frac{\frac{K/\tau}{s^2(s + 1/\tau)}} = \frac{K}{s^2} - \frac{K\tau}{s} + \frac{K\tau}{s + 1/\tau}$$

Sehingga,

$$c(t) = Kt - K\tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad t \geq 0$$

Kurva respon ramp sistem orde pertama untuk $K = 1$:

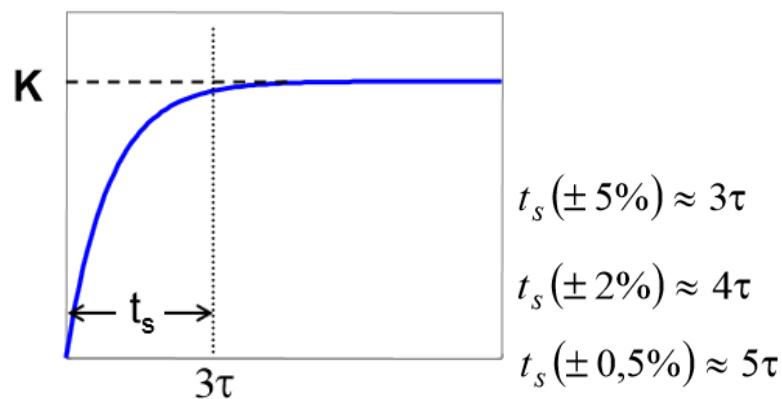


Gambar 2.22 Respon Orde Satu Terhadap Masukan Unit Ramp

- **Karakteristik Respon Transien**

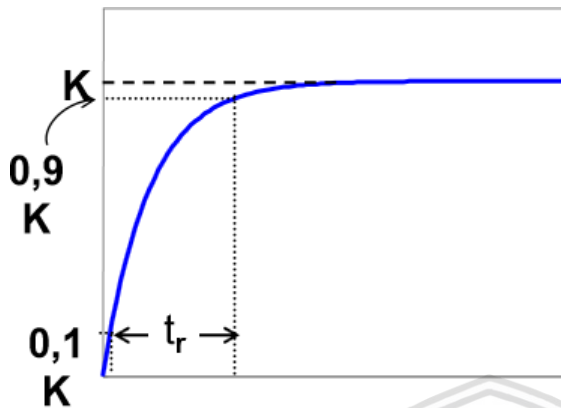
1. Waktu tunak atau settling time

ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil



2. Waktu naik atau rise time

ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak

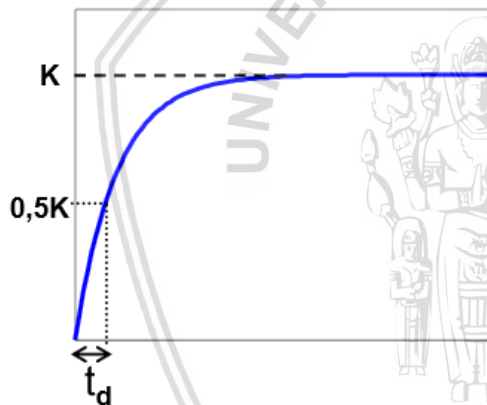


$$t_r(10\% - 90\%) \approx \tau \ln 9$$

$$t_r(5\% - 95\%) \approx \tau \ln 19$$

3. Waktu tunda atau delay time (td)

waktu yang dibutuhkan respon mulai $t = 0$ sampai respon mencapai 50% dari respon steady state.



• Error relatif pada keadaan steady state

$$\varepsilon_{ss} = \frac{X_{ss} - Y_{ss}}{X_{ss}} \times 100\%$$

(2-10)

dengan

$$Y_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s Y_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{K}{s(\tau s + 1)} \right) = K$$

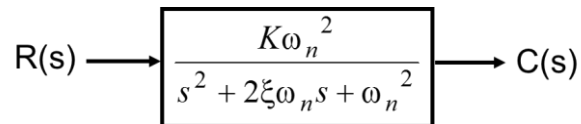
$$X_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s X(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{1}{s} \right) = 1$$

Sehingga

$$\varepsilon_{ss} = (1 - K) \times 100\%$$

2.13.2 Respon Sistem Orde 2

Suatu sistem dikatakan ber-orde kedua jika fungsi alihnya mempunyai variabel s dengan pangkat tertinggi dua.



Gambar 2.23 Diagram Blok Sistem Orde 2

Fungsi alih sistem orde satu dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2-11)$$

Dimana:

K : gain overall

ξ : rasio peredaman

ω_n : frekuensi alami tak teredam

- **Respon Step Underdamped**

Masukan unit step:

$$r(t) = 1 \cdot u(t) \rightarrow R(s) = \frac{1}{s}$$

Keluaran:

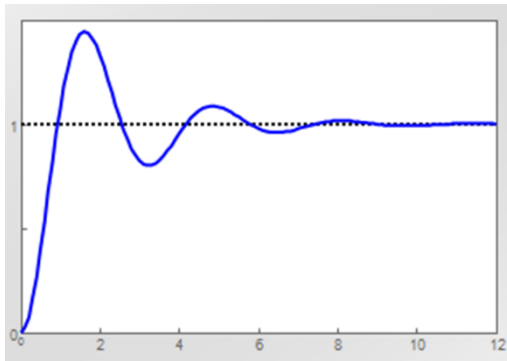
$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)s} = \frac{1}{s} - \frac{s + \xi\omega_n}{(s + \xi\omega_n)^2 + \omega_d^2} - \frac{\xi\omega_n}{(s + \xi\omega_n)^2 + \omega_d^2}$$

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2}$$

ω_d = Frekuensi alami teredam

Sehingga,

$$c(t) = 1 - \frac{e^{-\omega_n t}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin \left(\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi} \right) \quad (t \geq 0)$$



Gambar 2.24 Kurva respon step (underdamped)

- **Respon Step Criticallydamped**

Masukan unit step:

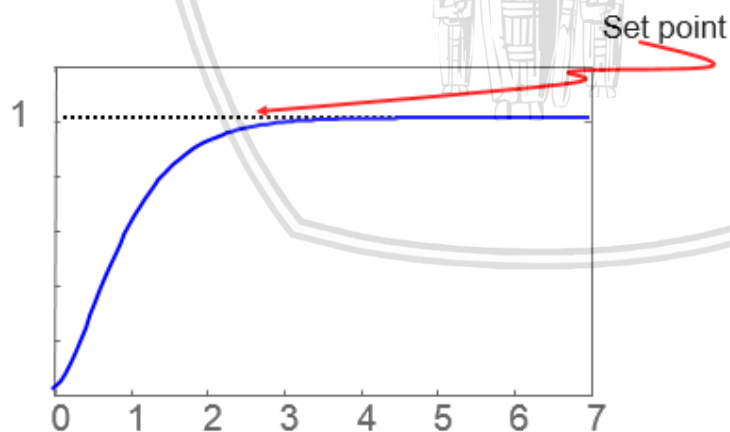
$$r(t) = 1.u(t) \rightarrow R(s) = \frac{1}{s}$$

Keluaran:

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s + \omega_n)^2 s} = \frac{1}{s} + \frac{-\omega_n}{(s + \omega_n)^2} - \frac{1}{(s + \omega_n)}$$

Sehingga,

$$c(t) = 1 - e^{-\omega_n t} (1 + \omega_n t) \quad (t \geq 0)$$



Gambar 2.25 Kurva respon step (criticallydamped)

- **Respon Step Overdamped**

Masukan unit step:

$$r(t) = 1.u(t) \rightarrow R(s) = \frac{1}{s}$$

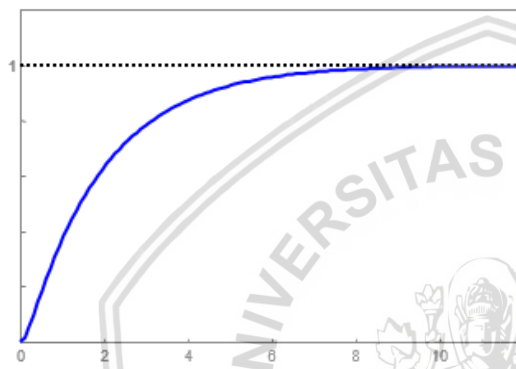
Keluaran:

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{\left(s + \xi\omega_n + \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}\right)\left(s + \xi\omega_n - \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}\right)s}$$

$$= \frac{\omega_n^2}{s_1 s_2} \cdot \frac{1}{s} + \frac{\omega_n^2}{s_1(s_1 - s_2)(s - s_1)} - \frac{\omega_n^2}{s_2(s_1 - s_2)(s - s_2)}$$

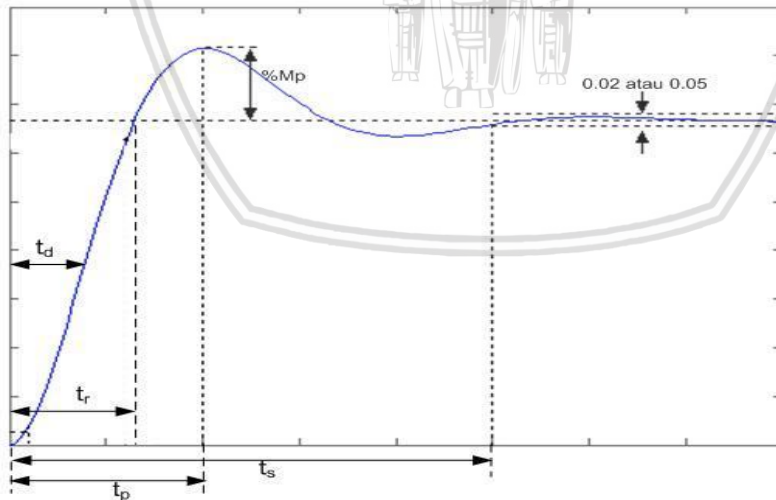
Sehingga,

$$c(t) = 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\xi^2 - 1}} \left(\frac{e^{s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{s_2 t}}{s_2} \right) \quad (t \geq 0)$$



Gambar 2.26 Kurva respon step (overdamped)

- **Karakteristik Respon Transien**



Gambar 2.27 Respon unit step sistem orde dua

1. **Waktu tunda atau delay time:** Waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah dari harga akhir pada saat lonjakan pertama.
2. **Waktu naik atau rise time:** Waktu yang diperlukan oleh respon agar naik dari 0% menjadi 100% dari harga akhir pada sistem kurang teredam (underdamped).

Pada sistem terlalu teredam (overdamped) adalah dari 10% sampai dengan 90% dari harga akhir.

3. **Waktu Puncak atau peak time:** waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak saat lonjakan pertama (maksimum).
4. **Lonjakan maksimum atau Maximum Overshoot:** Nilai puncak kurva respon diukur dari satuan.

$$\% M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (2-12)$$

$c(t_p)$ = Harga respon pada saat lonjakan maksimum

$c(\infty)$ = Harga respon saat keadaan mantap

5. **Waktu tetap atau settling time:** waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai harga tertentu dan berada tetap dalam range harga akhir (2% atau 5%).
- **Error relatif pada keadaan steady state**

$$\epsilon_{ss} = \frac{X_{ss} - Y_{ss}}{X_{ss}} \times 100\% \quad (2-13)$$

dengan

$$Y_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s Y_s = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{K}{s(\tau s + 1)} \right) = K$$

$$X_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s X(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{1}{s} \right) = 1$$

Sehingga

$$\epsilon_{ss} = (1 - K) \times 100\%$$

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan informasi dengan tujuan dan manfaat tertentu. Penyelesaian rumusan masalah dan pemenuhan tujuan dalam penelitian ini membutuhkan beberapa langkah atau metode penyelesaian. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perancangan blok diagram sistem.
2. Spesifikasi desain.
3. Karakterisasi setiap blok.

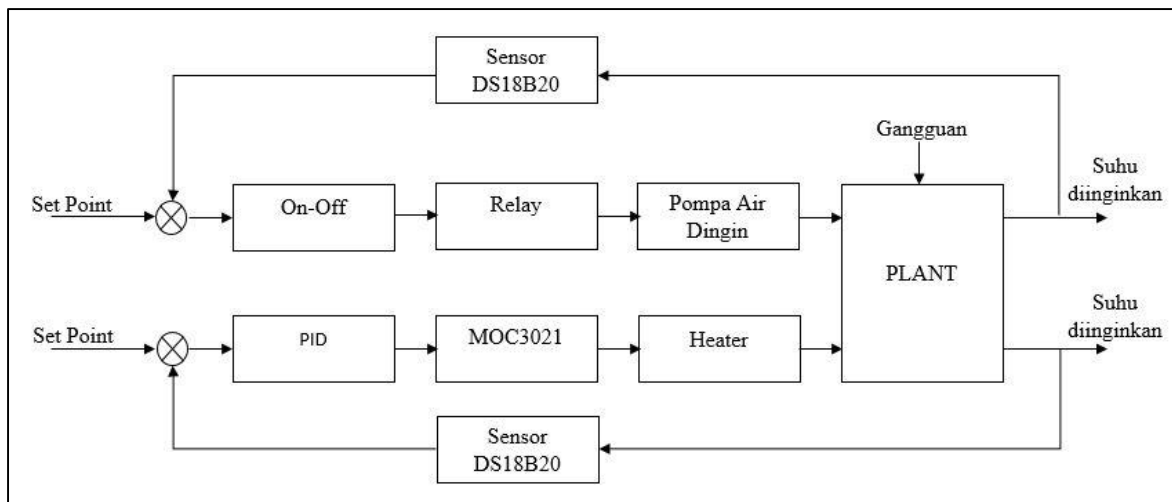
Karakterisasi setiap blok dilakukan untuk mempermudah analisis sistem. Karakterisasi dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

- a. Karakterisasi heater.
 - b. Karakterisasi sensor suhu DS18B20.
 - c. Karakterisasi plant.
4. Perancangan kontroler.
 5. Pembuatan perangkat keras.
 6. Perancangan algoritma.
 - a. Perancangan flowchart pembacaan sensor suhu.
 - b. Perancangan flowchart perhitungan parameter PID.

3.1 Perancangan Blok Diagram Sistem

Perencanaan sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengidentifikasi dapat berjalan sesuai dengan yang telah direncanakan.

Pada perancangan alat ini perlu dirancang diagram blok yang menjelaskan sistem yang dirancang secara garis besar, agar alat dapat bekerja sesuai dengan rencana. Gambar 3.1 menunjukkan diagram blok sistem yang akan dirancang.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem keseluruhan

Keterangan:

- Setpoint yaitu suhu 35°C.
- Kontroler yang digunakan adalah kontroler PID dan On-Off yang dimasukkan algoritmanya ke dalam Arduino Uno.
- Input kontroler PID berupa sinyal error dan Output kontroler PID berupa tegangan DC untuk driver heater.
- Driver Heater berupa driver tegangan AC. Prinsip kerja driver ini dengan memanfaatkan masukan arus DC dari Arduino untuk menghidupkan LED pada MOC3021, dimana LED akan mengaktifkan output yang berupa Triac. Triac BT137 akan terpicu sehingga pemanas akan teraliri arus listrik AC. Besar kecilnya tegangan AC sebanding dengan keluaran tegangan DC dari Arduino.
- Pompa air dingin diatur menggunakan relay dimana akan aktif apabila suhu melebihi set point.
- Tabung bioreaktor sebagai plant.
- Sebagai umpan balik digunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu dalam tabung bioreaktor.

3.2 Spesifikasi Desain

Desain yang diinginkan pada perancangan Kontrol PID mempunyai spesifikasi yaitu:

- Error Steady State < 5 %.

Error Steady State < 5%, karena sistem yang baik memiliki output dengan batas nilai akhir 5% dari setpoint.

- Settling Time < 90 menit.

Settling time diharapkan lebih cepat dari sebelumnya yaitu yang sebelumnya lebih dari 90 menit bisa menjadi kurang dari 90 menit.

3. Overshoot < 10%.

3.3 Karakterisasi Setiap Blok

3.3.1 Karakterisasi heater

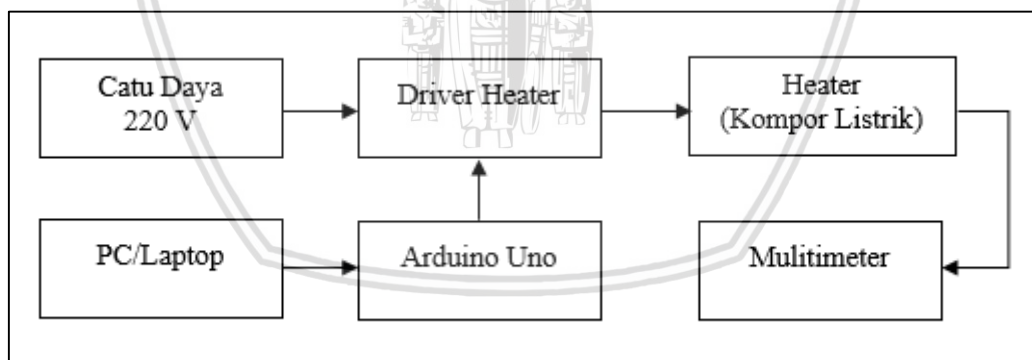
Karakterisasi aktuator yang berupa heater dilakukan agar mengetahui kinerja dari heater pada saat dikontrol oleh PWM. Hal ini dilakukan dengan menganalisis tegangan pada heater saat PWM diberi keluaran tertentu.

Peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi heater adalah sebagai berikut:

1. Heater (Kompor listrik)
2. Driver heater (MOC 3021)
3. Arduino UNO
4. Multimeter
5. PC / Laptop
6. Kabel Penghubung

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi heater adalah sebagai berikut:

1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rangkaian pengujian karakterisasi heater

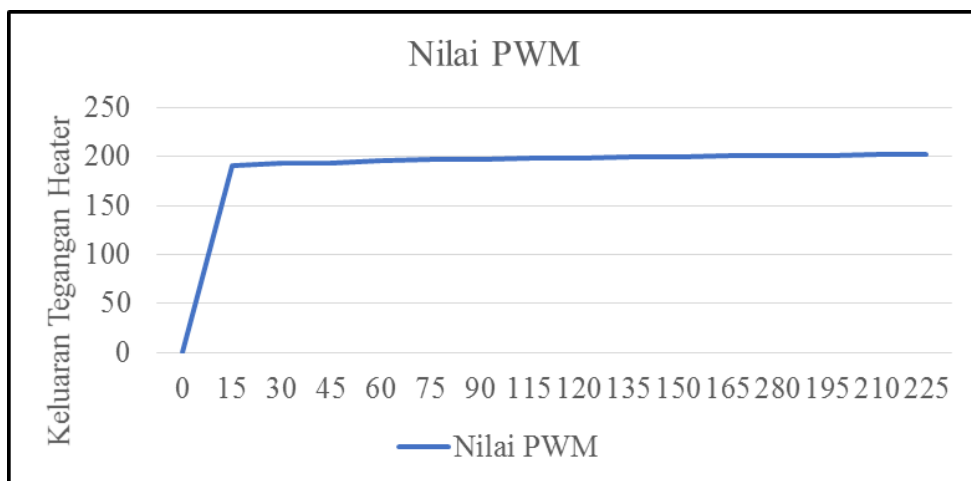
2. Menghubungkan driver heater dengan sumber AC.
3. Membuat program pengontrolan driver pada software Arduino UNO
4. Percobaan dilakukan dengan menganalisis kompor listrik pada saat pwm 0 hingga 255 dengan beda 15 satuan setiap percobaan.
5. Mengamati dan mencatat tegangan pada tampilan multimeter.

Hasil karakterisasi heater dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Rangkaian pengujian karakterisasi heater

Nilai PWM	Tegangan keluaran heater dengan Multimeter (Volt)
0	0
15	191
30	193
45	194
60	196
75	197
90	197
115	198
120	199
135	200
150	200
165	201
180	201
195	201
210	202
225	202
240	205
255	207

Hubungan tegangan keluaran heater dengan masukan driver yang berupa sinyal PWM pada Tabel 3.1 dapat direpresentasikan menjadi grafik seperti dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik perubahan keluaran tegangan heater terhadap perubahan nilai PWM

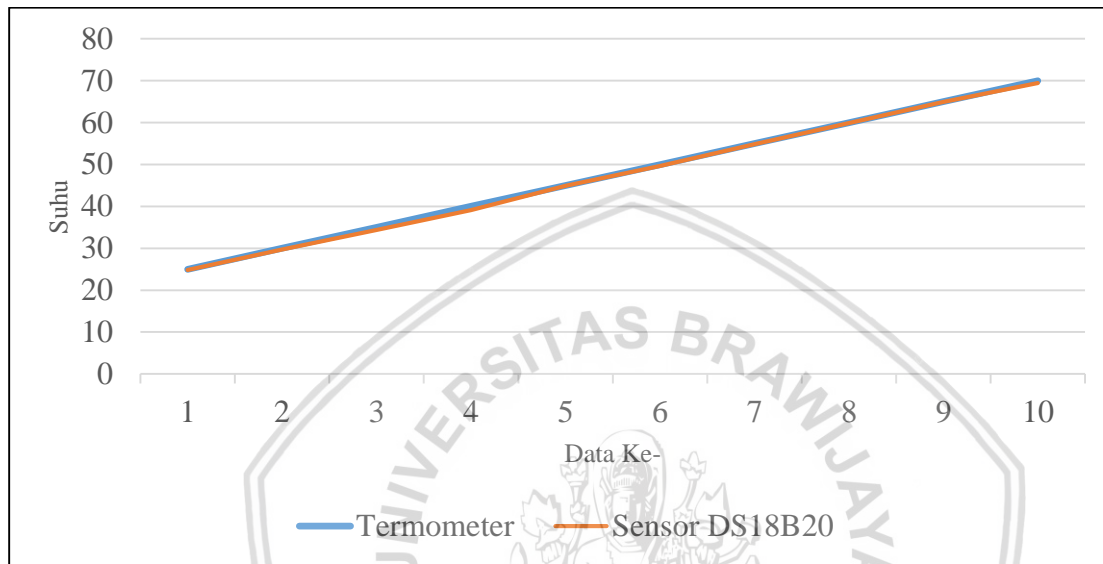
3.3.2. Karakterisasi Sensor Suhu DS18B20

Karakterisasi sensor suhu dilakukan dengan melakukan perbandingan hasil pembacaan suhu menggunakan sensor dan hasil pembacaan menggunakan termometer. Hasil pengujian sensor DS18B20 ditunjukkan dalam Tabel 3.2. Didapatkan grafik linear antara sensor suhu dengan termometer seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4.

Tabel 3.2 Perbandingan Pembacaan Sensor Suhu dengan Termometer

Suhu Temometer ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Pembacaan Sensor DS18B20	Error
25	24.85	0.15
30	29.75	0.25
35	34.38	0.62
40	39.13	0.87
45	44.94	0.06
50	49.69	0.31
55	54.89	0.11
60	59.88	0.12
65	64.97	0.03
70	69.46	0.54
Rata-rata Error		0.30

Berdasarkan hasil pengujian dalam Tabel 3.2, error antara suhu pembacaan termometer dengan suhu pembacaan sensor DS18B20 adalah sekitar $0,30^{\circ}\text{C}$. Grafik perbandingan suhu hasil pembacaan termometer acuan dengan serial monitor dapat dilihat dalam Gambar 3.4. Pada grafik tersebut terlihat bahwa selisih yang timbul antara kedua pembacaan suhu cenderung membentuk garis linear.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Pembacaan Termometer dengan Sensor DS18B20

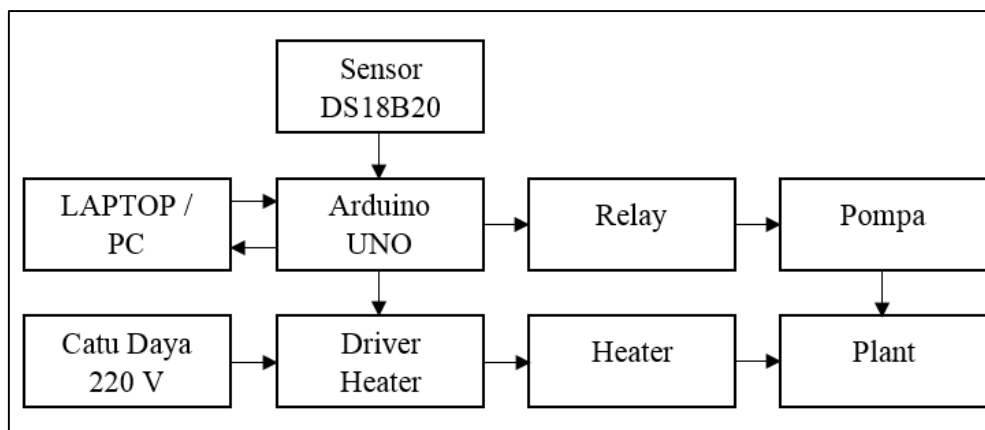
3.3.3. Karakterisasi Plant

Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

1. Arduino Uno
2. Driver Heater (MOC 3021)
3. Heater (Kompor Listrik)
4. PC/Laptop
5. Pompa Air
6. Sensor DS18B20
7. Relay
8. Kabel Penghubung

Langkah-langkah saat melakukan karakterisasi plant adalah sebagai berikut:

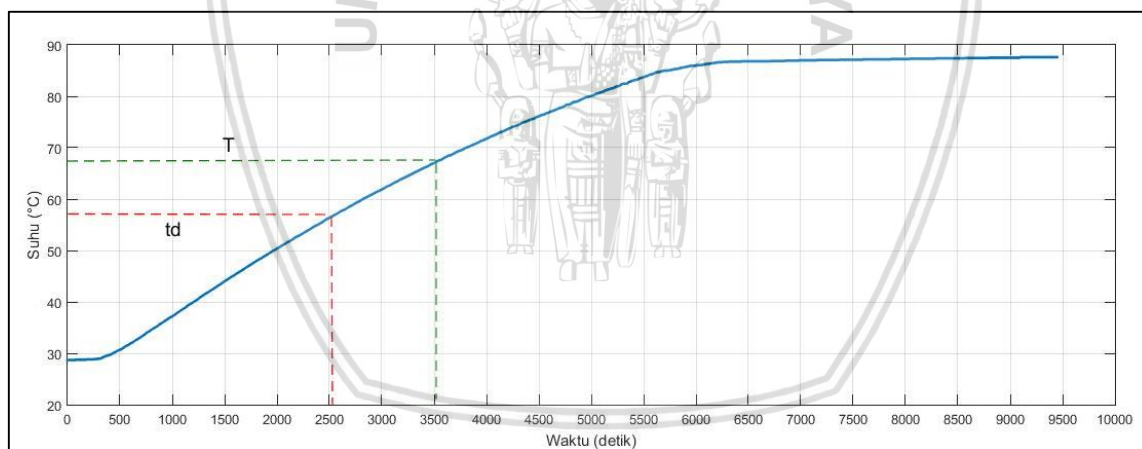
1. Menyusun rangkaian seperti Gambar 3.5



Gambar 3.5 Rangkaian pengujian karakterisasi plant

2. Menghubungkan rangkaian pengujian dengan sumber AC.
3. Respon suhu plant ditampilkan pada serial monitor dan plot ke dalam grafik dengan Matlab.

Gambar 3.6 merupakan grafik karakteristik plant tabung bioreaktor untuk menghasilkan gas metan. Grafik tersebut didapatkan dengan memberikan masukan PWM sebesar 1 atau tegangan sebesar 180 Volt.



Gambar 3.6 Grafik karakteristik tabung bioreaktor

Dari respon plant pada Gambar 3.6 didapatkan data sebagai berikut:

$$td = 2520s$$

$$T = 3500s$$

Sehingga didapatkan fungsi alih:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{1}{3500s + 1}$$

Berdasarkan fungsi alih diatas, dapat diketahui persamaan karakteristiknya adalah sebagai berikut:

$$1 + G(s)H(s) = 0$$

$$1 + \frac{1}{3500s + 1} \cdot 1 = 0$$

$$3500s + 2 = 0$$

$$3500s = -2$$

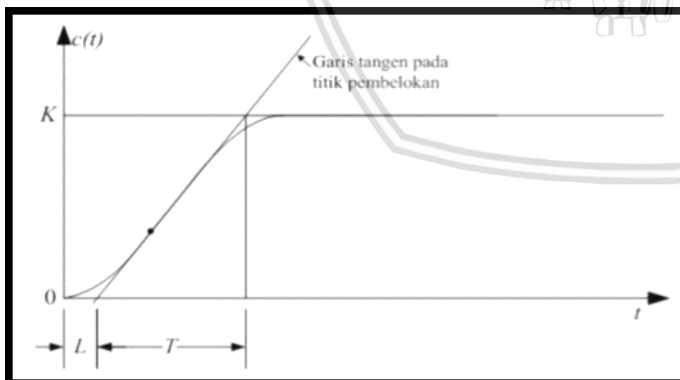
$$s = -\frac{2}{3500} = -5.71 \times 10^{-4}$$

Syarat sistem stabil adalah bagian nyata akar-akar persamaan karakteristiknya harus negatif. Karena nilai $s = -5.71 \times 10^{-4}$ nyata dan berharga negatif, maka sistem ini merupakan sistem yang stabil.

3.4. Perancangan Kontroler

Dalam memenuhi tujuan performansi loop yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler dalam sistem. Kontrol yang dipilih adalah kontrol Proporsional Integral Derivatif. Kontroler PID dipilih karena karakteristik *plant* alat ini membutuhkan kontrol yang cepat dengan meminimalkan overshoot.

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional K_p , waktu integral T_i , dan waktu derivatif T_d berdasarkan karakteristik respon transien dari *plant* yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan plan (Ogata, K., 1997). Pada pengerjaan skripsi ini digunakanlah metode Ziegler Nichols yang pertama sehingga mendapatkan sinyal kurve S seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata, K. 1997)

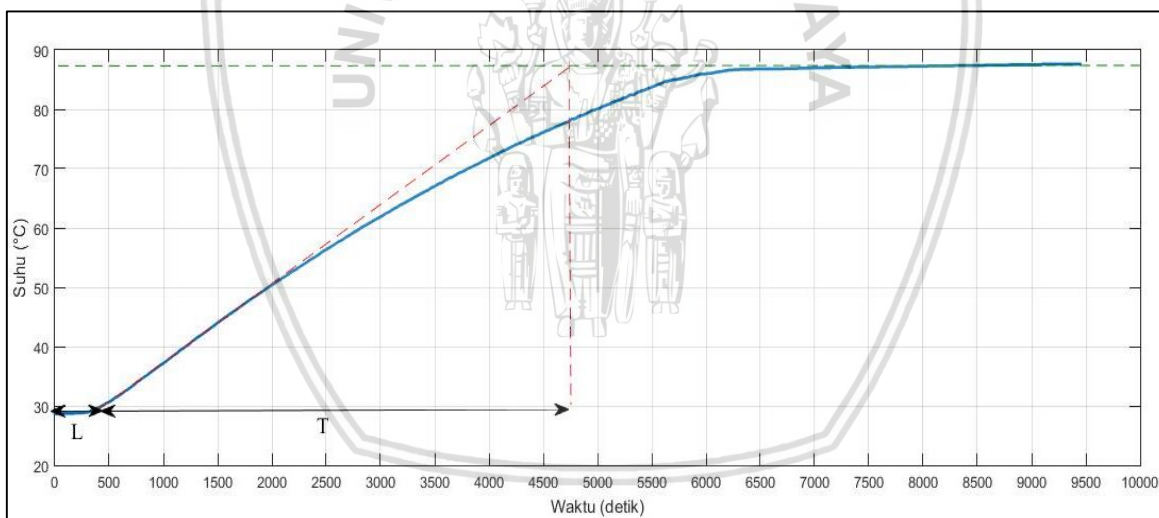
Grafik karakteristik *plant* dalam Gambar 3.8 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (S-shaped curve) sehingga dapat digunakan tuning K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols.

Langkah menentukan *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah sebagai berikut:

1. Menarik garis *tangent* pada titik infleksi pada grafik karakteristik *plant* seperti pada Gambar 3.8
2. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu waktu t untuk mendapatkan nilai L .
3. Menentukan perpotongan garis *tangent* terhadap sumbu *steady* untuk mendapatkan nilai T .
4. Setelah mendapatkan nilai L dan T kemudian menentukan nilai K_p , T_i dan T_d sesuai ketentuan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols (Ogata K, 1997)

Tipe Kontrol	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$



Gambar 3.8 Grafik Penentuan K_p , K_i , K_d

PWM yang diberikan yaitu sebesar 1 dengan nilai tegangan output sebesar 180, sehingga di dapatkan gain (k), waktu tunda (L), konstanta waktu (T). Berdasarkan grafik pada gambar 3.8 diperoleh nilai $L = 420$ s dan $T = 4300$ s.

Dan didapatkan nilai perhitungan:

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L} = 1,2 \frac{4300}{420} = 12,28$$

$$T_i = 2L = 840 \text{ sehingga } K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{12,28}{840} = 0,014$$

$$Td = 0,5L = 210 \text{ sehingga } Kd = Kp \times Td = 13,4 \times 210 = 2580$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat diketahui nilai $Kp = 12,28$, $Ki = 0,014$, $Kd = 2580$.

3.5. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta rangkaian elektronik pendukungnya, hal ini dimaksudkan agar sistem pengendali suhu pada bioreaktor anaerob dapat berjalan sesuai dengan deskripsi awal yang telah direncanakan. Skema dari perangkat keras adalah seperti pada Gambar 3.5.

Peralatan yang digunakan sebagai berikut:

1. Arduino Uno
2. Driver Heater (MOC 3021)
3. Heater (Kompor Listrik)
4. PC/Laptop
5. Pompa Air
6. Sensor DS18B20
7. Relay
8. Kabel Penghubung

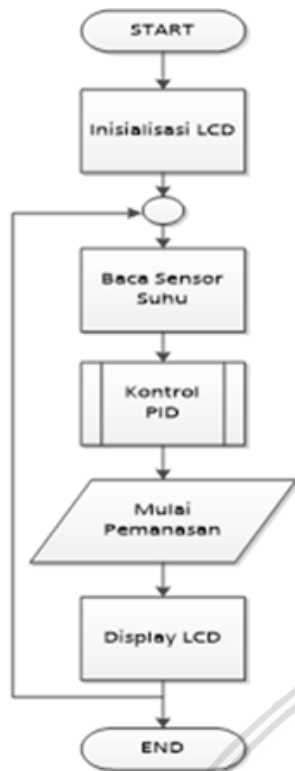
Sedangkan prinsip kerja alat ini:

1. Catu daya 5V DC digunakan sebagai catu daya bagi Arduino Uno.
2. Catu daya 220V AC digunakan sebagai catu daya bagi driver heater.
3. PWM keluaran mikrokontroler digunakan sebagai masukan driver heater.
4. Pompa air diatur menggunakan relay.
5. Komunikasi antara laptop/PC dengan mikrokontroler menggunakan kabel USB serial A to B.

3.6. Perancangan Algoritma

3.6.1. Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

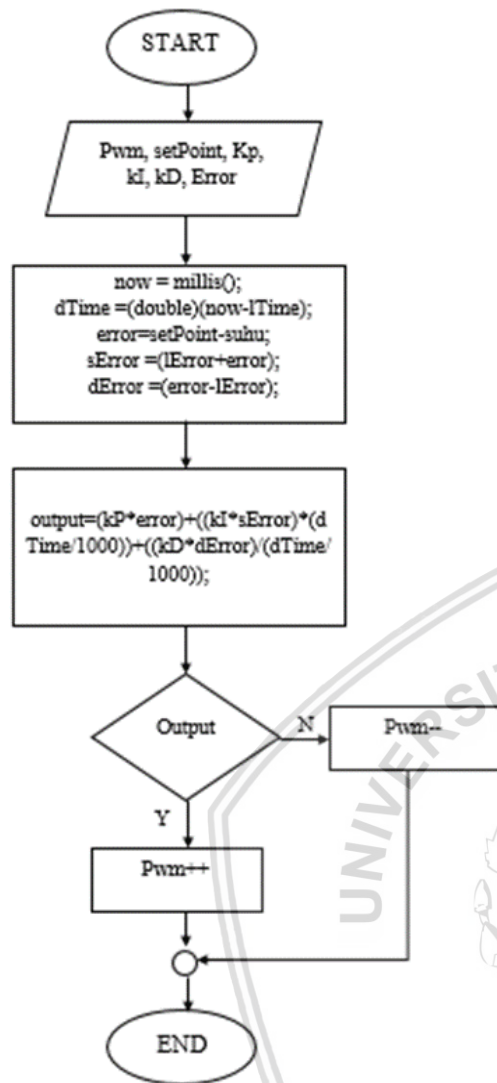
Flowchart pembacaan sensor DS18B20 ditunjukkan dalam Gambar 3.10



Gambar 3.9 Flowchart Pembacaan Sensor Suhu

3.6.2. Flowchart Perhitungan Parameter PID

Flowchart perhitungan parameter PID ditunjukkan dalam Gambar 3.10



Gambar 3.10 Flowchart Perhitungan Parameter PID

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa hasil dan pembahasan dilakukan dengan melakukan pengujian sistem secara menyeluruh. Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah sistem hasil perancangan sesuai dengan spesifikasi perancangan serta mengetahui hasil responnya:

4.1. Pengujian Tanpa Sistem Pengendali

a. Tujuan

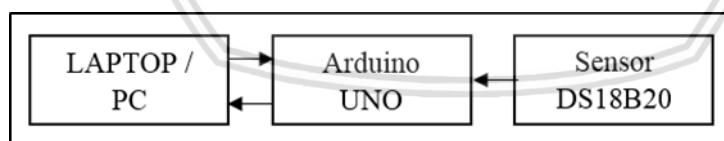
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon sistem terhadap setpoint ketika tanpa sistem pengendali dengan ketika menggunakan kontroler, sehingga dapat ditentukan bahwa sistem memerlukan sebuah sistem pengontrolan atau tidak.

b. Peralatan yang digunakan

1. Arduino Uno
2. PC/Laptop
3. Sensor DS18B20
4. Kabel Penghubung
5. Catu daya 220V

c. Langkah Pengujian

1. Biarkan tabung bioreaktor tetap pada kondisi suhu ruang.
2. Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 4.1

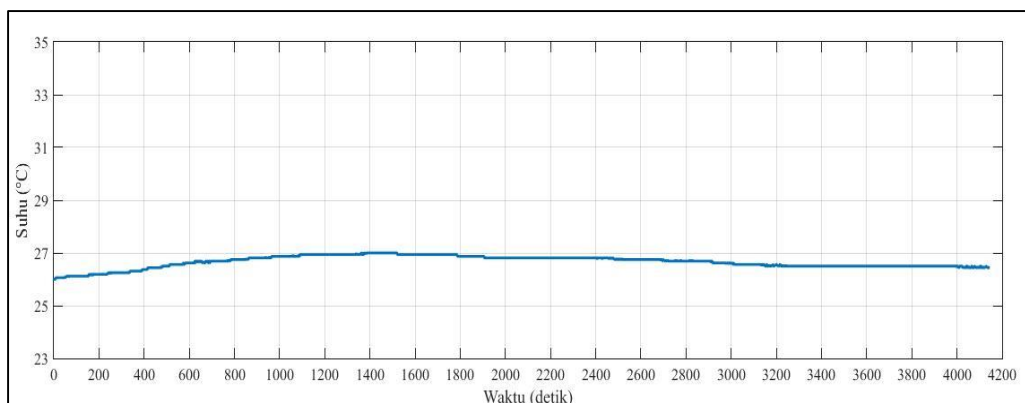


Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian Tanpa Kontroler

3. Menampilkan dan merekam nilai suhu tabung bioreaktor pada serial monitor software Arduino compiler 1.0.6.
4. Membuat grafik pada matlab dari data yang didapat.

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon suhu tanpa kontroler. Grafik hasil pengujian bisa dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Respon Sistem Tanpa Kontroler

Dalam grafik 4.2 diatas sistem stabil pada suhu berkisar 26-27°C dan sistem tidak dapat mencapai suhu yang diinginkan yaitu 35°C, maka diperlukan sebuah kontroler untuk menjadikan suhu sistem sesuai dengan yang diinginkan.

4.2. Pengujian Menggunakan Kontroler

a. Tujuan

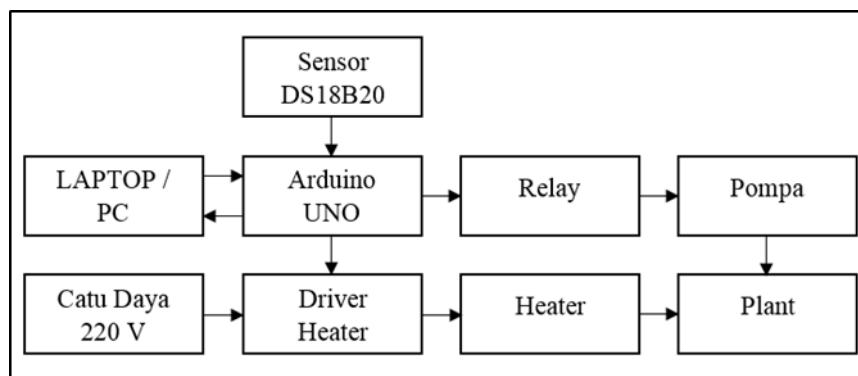
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana perbedaan respon sistem bioreaktor terhadap setpoint ketika menggunakan kontroler.

b. Peralatan yang Digunakan

1. Arduino Uno
2. Driver Heater (MOC 3021)
3. Heater (Kompor Listrik)
4. PC/Laptop
5. Pompa Air
6. Sensor DS18B20
7. Relay
8. Kabel Penghubung
9. Catu Daya 220V

c. Langkah Pengujian

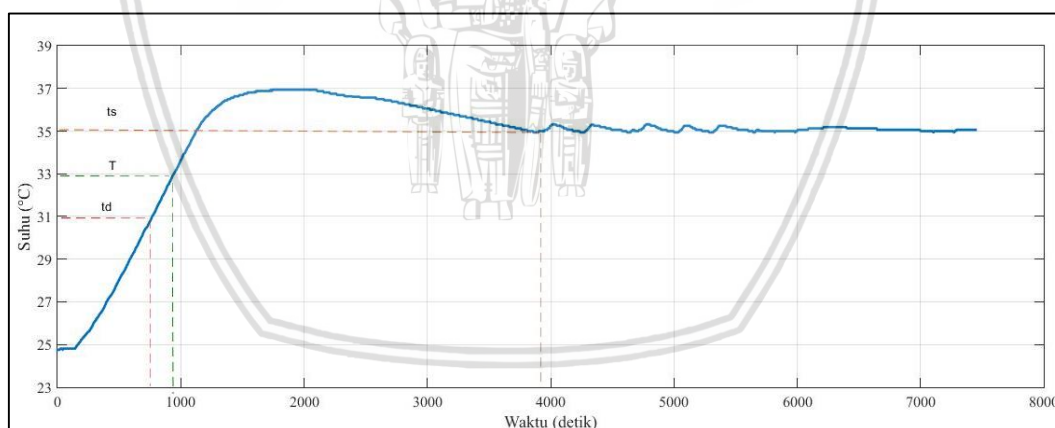
1. Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Rangkaian Pengujian Menggunakan Kontroler

2. Mengunduh program dengan kontroler PID sesuai dengan parameter yang telah didapat melalui software arduino compiler 1.0.6.
 3. Menampilkan dan merekam nilai suhu tabung bioreaktor pada serial monitor software Arduino compiler 1.0.6.
 4. Membuat grafik pada matlab dari data yang didapat.
- d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran berupa grafik pembacaan suhu maksimal. Grafik hasil pengujian bisa dilihat dalam Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Respon Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dalam Gambar 4.4 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

- t_d (waktu tunda) yaitu waktu ketika suhu belum naik karena pemanas masih dalam proses pemanasan. t_d berdasarkan pengujian adalah 751 detik.
- t_s (settling time) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika steady. t_s berdasarkan pengujian adalah 3903 detik. Settling time didapat ketika suhu telah mencapai 35°C .

- Error Steady State %E = $|(Setpoint-present\ value)/setpoint| \times 100\%$
 $\%E = |(35-35,31)/35| \times 100\% = 0,88\%$.
- Maksimum overshoot sebesar 5,7%.

4.3 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan ketika diberi Gangguan

a. Tujuan

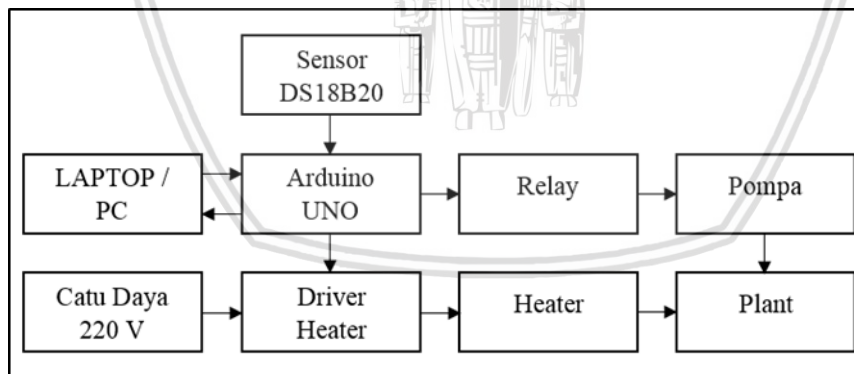
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon sistem bioreaktor dengan kontroler ketika diberi gangguan, untuk mendapatkan grafik output pembentukan kurva s pada plant.

b. Peralatan yang Digunakan

1. Arduino Uno
2. Driver Heater (MOC 3021)
3. Heater (Kompor Listrik)
4. PC/Laptop
5. Pompa Air
6. Sensor DS18B20
7. Relay
8. Kabel Penghubung.

c. Langkah Pengujian

1. Menghubungkan rangkaian seperti Gambar 4.5.

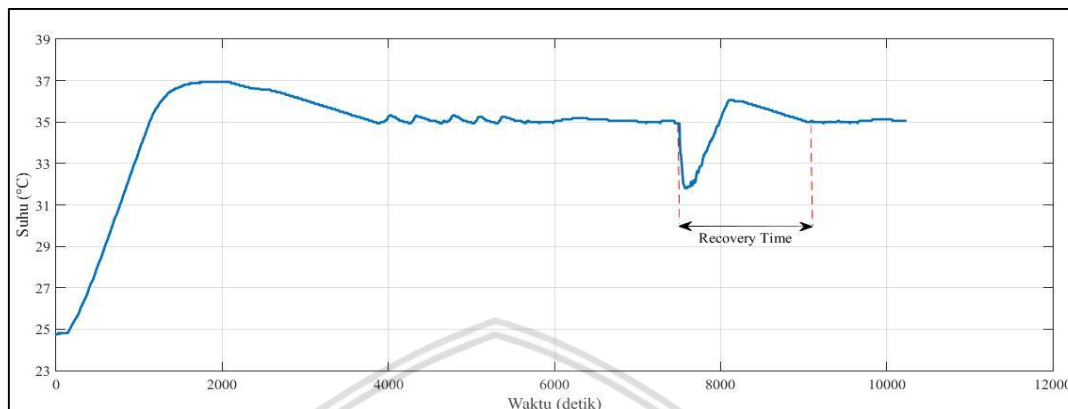


Gambar 4.5 Rangkaian Pengujian Menggunakan Kontroler

2. Mengunduh program dengan kontroler PID sesuai dengan parameter yang telah didapat melalui software arduino compiler 1.0.6.
3. Memberikan gangguan ketika sistem sudah pada kondisi steady.
4. Menampilkan dan merekam nilai suhu tabung bioreaktor pada serial monitor software Arduino compiler 1.0.6.
5. Membuat grafik pada matlab dari data yang didapat.

d. Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur pengujian, didapatkan hasil respon keluaran berupa grafik pembacaan suhu maksimal. Grafik hasil pengujian bisa dilihat dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik respon sistem ketika diberi gangguan

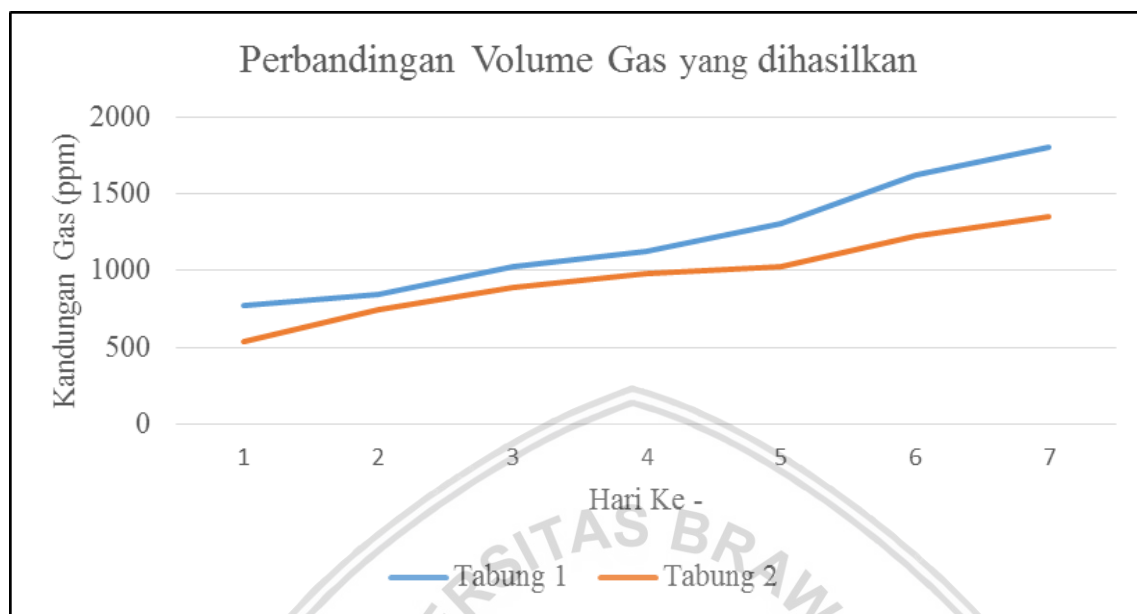
Dari grafik hasil pengujian, dapat dilihat respon sistem terhadap gangguan berupa perubahan suhu yang dingin yang dilakukan dengan mencelupkan es kedalam bioreaktor. Sistem dapat kembali pada keadaan steady state setelah terjadinya gangguan dan mengalami proses recovery time sebesar 1579 detik.

4.4. Perbandingan Hasil Produksi Biogas

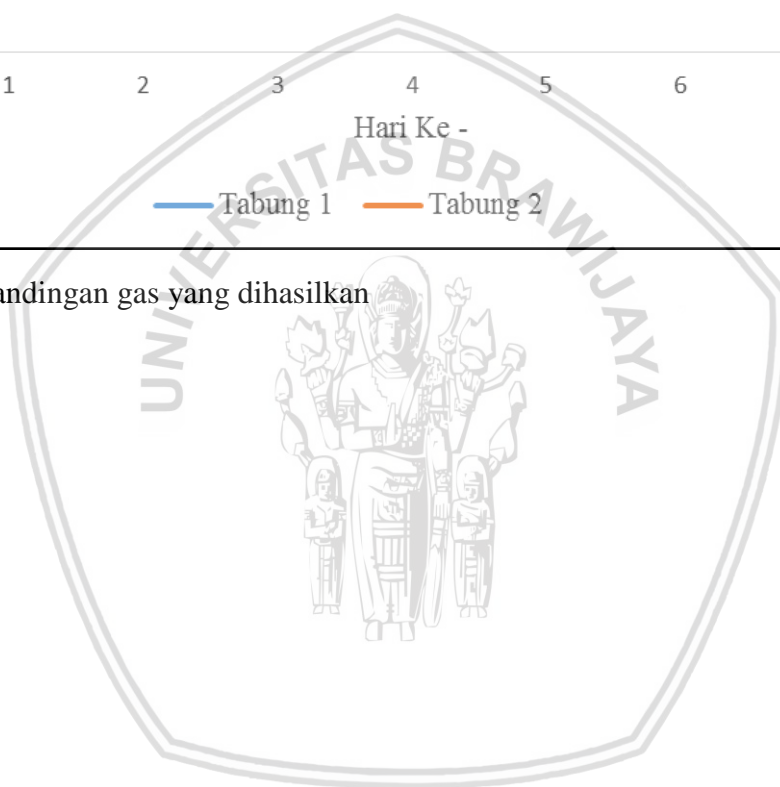
Pengambilan data hasil pengukuran kandungan gas pada tabung bioreaktor anaerob dilakukan pada sore hari selama tujuh hari berturut-turut. Berdasarkan hasil pengukuran dan mengacu pada rumus (2-8) didapatkan kandungan gas antara tabung bioreaktor dengan kontroler (Tabung 1) dan tabung bioreaktor tanpa kontroler (Tabung 2) dapat dilihat pada table 4.1.

Tabel 4.1 Grafik Kandungan Gas Metana yang dihasilkan dengan Pengontrolan Suhu dan Tanpa Pengontrolan.

Hari Ke	Nilai ADC	Kandungan gas Tabung 1 (ppm)	Nilai ADC	Kandungan gas Tabung 2 (ppm)
1	82	777	56	534
2	90	848	78	743
3	108	1024	94	893
4	119	1129	104	982
5	138	1305	108	1022
6	171	1624	129	1222
7	190	1801	142	1347



Gambar 4.7 Perbandingan gas yang dihasilkan



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kontroler PID dengan parameter $K_p=12.28$, $K_i=0.014$, dan $K_d=2580$, dapat diimplementasikan secara langsung pada sistem bioreaktor anaerob untuk mencapai set point 35°C , dan didapatkan nilai settling time (t_s) = 3903 detik, waktu tunda (t_d) = 751 detik, error steady state sebesar 0,88% dan Maksimum Overshoot sebesar 5.7%. Kandungan gas metana yang dihasilkan dengan pengontrolan suhu lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pengontrolan suhu, hal ini menunjukkan kondisi ideal tumbuh kembang bakteri methan terpenuhi.
2. Hasil pengujian dengan menggunakan gangguan terhadap kontroler PID menggunakan Arduino Uno menunjukkan bahwa respon sistem dapat kembali pada keadaan steady state dan mengalami proses recovery time sebesar 1579 detik.

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat ini masih terdapat banyak kelemahan dan kekurangan. Pemilihan aktuator yang tepat dapat memperbaiki kinerja alat ini, salah satu kelemahan heater yang berupa kompor listrik pada penelitian ini yaitu panas tetap mengalir pada tabung bioreaktor meskipun catu daya pada heater diputus, hal ini menyebabkan sistem mengalami overshoot berlebih. Untuk itu ke depannya disarankan untuk menggunakan heater jenis lain. Selain itu penambahan sensor suhu akan memberikan tingkat akurasi pembacaan suhu plant yang lebih baik. Untuk pengukuran gas, kedepannya bisa dilakukan pada pagi hari, siang hari, dan malam hari untuk mengetahui kandungan gas secara real time.



DAFTAR PUSTAKA

- Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Terjemahan Edi Leksono, Jakarta: Erlangga.
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar: Pengendalian Proses*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Rahmatiah. 2014. Artikel EBuletin LPMP Sulsel ISSN. 2355-3189: *Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif*.
- Rizky, Irfantry. 2014. *Perancangan Sistem Kontrol Temperatur Anaerob Digester Biogas Menggunakan Metode Gabungan Logika Fuzzy Dan Kendali Dua Posisi*. Tugas akhir. Universitas Andalas. Padang.
- Ibrahim, Mochammad Hesa. 2016. *Penggunaan Teknik Model Reference Adaptive Control pada Tuning Pengontrolan PI pada Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ywalitasanti, Ratna. 2015. *Deteksi Dini Pengaman LPG Berbasis SMS*. Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Dian Nuswantoro. Semarang.
- Yudaningtyas, Erni. 2017. *Belajar Sistem Kontrol Soal & Pembahasan*. Malang: UB Press.
- Prasetyanto, Wahyu. 2015. *Pengendalian Suhu Pada Proses Pembuatan Kompos Anaerob dari Sampah Organik Berbasis Mikrokontroler*. Skripsi. Fakultas Teknik. Malang: Universitas Brawijaya.